

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta stavební  
Katedra stavební mechaniky



Železobetonová konstrukce administrativní budovy  
Reinforced concrete structure of office building

Student:

Bc. Jakub Hellemann

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Martina Janulíková, Ph.D.

Ostrava 2016

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jakub Hellemann**  
Studijní program: N3607 Stavební inženýrství  
Studijní obor: 3607T037 Konstrukce staveb  
Téma: **Železobetonová konstrukce administrativní budovy**  
**Reinforced concrete structure of office building**  
Jazyk vypracování: čeština

### Zásady pro vypracování:

V rámci této práce bude zpracován statický výpočet železobetonové konstrukce administrativní budovy. Posouzení bude provedeno pro mezní stav únosnosti i použitelnosti. V práci budou zpracovány vybrané výkresy tvaru a vybrané výkresy výztuže včetně detailů.

### Seznam doporučené odborné literatury:

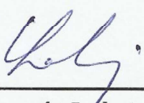
ČSN EN 1992-1-1: Navrhování betonových konstrukcí - část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Praha: ČNI, 2006.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

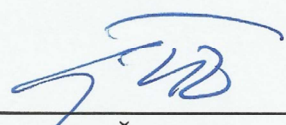
Vedoucí diplomové práce: **Ing. Martina Janulíková, Ph.D.**

Datum zadání: 29.02.2016

Datum odevzdání: 30.11.2016

  
doc. Ing. Antonín Lokaj, Ph.D.  
vedoucí katedry



  
prof. Ing. Radim Čajka, CSc.  
děkan fakulty

### **Prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 30.11.2016

.....

Bc. Jakub Hellemann

## **Prohlašuji:**

- Byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb.– autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- Beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 30.11.2016

.....

Bc. Jakub Hellemann



## **Anotace**

Předmětem diplomové práce je návrh železobetonové konstrukce administrativní budovy. Jako předloha pro tuto práci byla použita studie vypracovaná studentkou studijního oboru Architektura a stavitelství. Při tvorbě této práce byl kladen důraz na zachování vzhledu a rozměrů navrhovaných autorkou studie Evou Pastorkovou [1]. Pro celou navrženou konstrukci byl vytvořen výpočtový model v programu Scia Engineer 2016[2]. Z tohoto modelu byly získány vnitřní síly v jednotlivých prvcích. Vybrané hlavní prvky byly dále posouzeny. Celá práce je doplněna stavebními výkresy a vybranými výkresy tvaru a výztuže.

**Klíčová slova:** železobeton, deska, sloup

## **Annotation**

The subject of this thesis is the design of reinforced concrete construction of the administrative building. As a template for this work was used architectural study that was made by student of Architecture and engineering. In creating of this thesis, emphasis was placed on maintaining the appearance and size of the proposed author of the study Eva Pastorková[1]. For the whole of the structure was created calculation model in Scia Engineer 2016 [2]. From this model were obtained by internal forces in the individual elements. Selected main elements were further assessed. The whole work is completed construction drawings and drawings of shape and reinforcement.

**Key words:** Reinforced concrete, slab, column

## Obsah

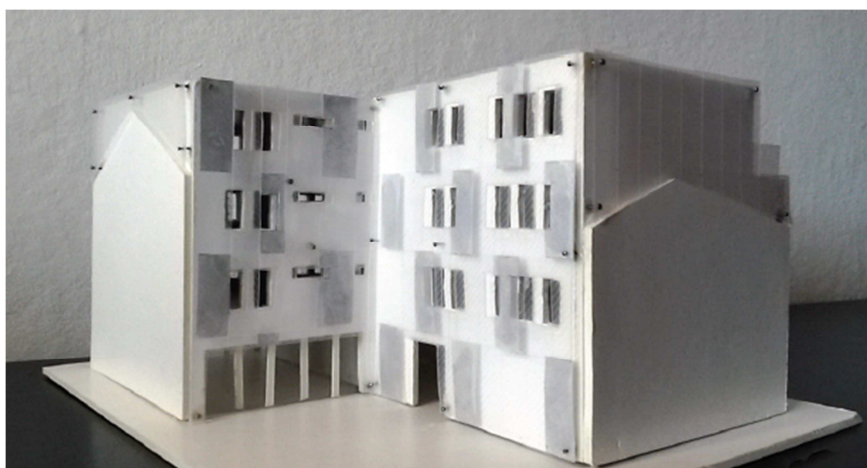
1. Úvod.....	8
2. Popis budovy.....	9
3. Konstrukční systém.....	12
3.1. Předběžný návrh dimenzí prvků.....	14
Zjednodušený výpočet zatížení.....	14
Výpočet stropní desky.....	15
Výpočet sloupu .....	17
4. Zatížení konstrukce .....	18
4.1. Stálá zatížení.....	18
Vlastní tíha .....	18
Zatížení střechy .....	19
Zatížení betonových desek v patrech .....	20
4.2. Nahodilá zatížení .....	21
Užitná zatížení .....	22
Sníh .....	22
Vítr .....	23
5. Kombinace zatížení.....	31
6. Model ve Scia Engineer 2013.1 .....	32
7. Výsledky .....	33
7.1. Výpočet vnitřních sil na desce.....	35
Výpočet ohybových momentů dle metody součtových momentů:.....	35
Měrný ohybový moment ve směru x - $m_x^+$ [kNm/m] .....	39
Měrný ohybový moment ve směru x - $m_x^-$ [kNm/m] .....	41
Měrný ohybový moment ve směru y - $m_y^+$ [kNm/m] .....	44
Měrný ohybový moment ve směru y - $m_y^-$ [kNm/m].....	46

Posouvací síly na desce pro posudek na protlačení sloupu deskou .....	48
7.2. Vnitřní síly na sloupu .....	49
8. Návrh vybraných částí konstrukce .....	51
8.1. Deska – ohybová výztuž .....	51
Směr x – dolní povrch .....	52
Směr y – dolní povrch .....	63
Směr x – horní povrch .....	71
Směr y – horní povrch .....	82
8.2. Deska - Posudek na protlačení .....	88
8.3. Deska – mezní stav použitelnosti .....	91
8.4. Sloup .....	94
9. Závěr .....	101
10. Seznam použitých zdrojů a literatury .....	103
11. Použitý software .....	103
12. Seznam příloh .....	103

# 1. Úvod

Předmětem diplomové práce je řešení železobetonové konstrukce objektu administrativní budovy. Pro tuto práci byla se svolením autorky použita studie vypracovaná v předmětu Ateliérová tvorba II. Tato studie se týká návrhu budovy v místě čtvercové proluky v ulici Hollarova v Moravské Ostravě. Při návrzích bylo jednou z priorit maximálně zachovat vzhled navržené budovy.

Jako předloha k návrhu byly poskytnuty materiály vytvořené autorkou studie. Jednalo se o studii jednotlivých pater, vizualizace celkového vzhledu budovy a její model [obrázek 1]. Tyto materiály byly analyzovány, byly zváženy možnosti a navrhována konstrukce. Při návrhu konstrukce bylo přistoupeno k některým úpravám návrhu. Ty poté autorka studie odsouhlasila.

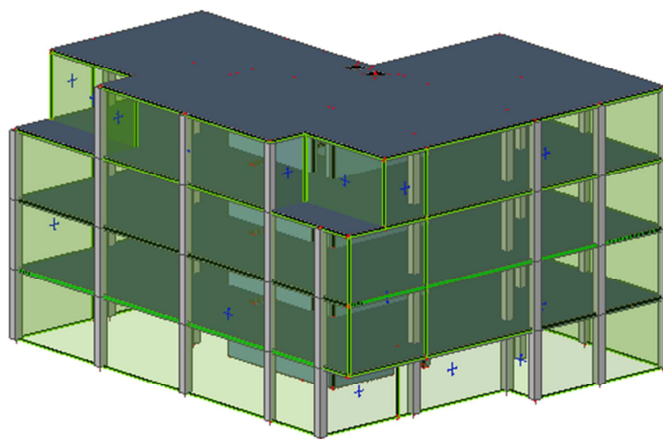


Obrázek 1 - Model budovy poskytnutý autorkou studie

Po zvážení možnosti provedení bylo rozhodnuto o návrhu systém lokálně podepřených desek a sloupů, které nejvíce vyhovují nízké konstrukční výšce pater. I při použití této varianty však musela být celá budova z důvodu minimální světlé výšky kancelářských prostor a umístění podhledů pro vedení vzduchotechniky mírně zvýšena. Dále bylo navrženo umístění hlavní ztužující konstrukce a umístění zdí pro oddělení domovních celků. Poslední změnou oproti původní studii byla úprava rozmístění navržených místností a jejich rozměry tak aby maximálně odpovídaly navrženému umístění sloupů.

Pro zjištění vnitřních sil v jednotlivých prvcích byl využit výpočetní program Scia Engineer 2016 [2]. V tomto programu byl vytvořen model celé budovy [obrázek 2]. Na tento model byla aplikována všechna požadovaná zatížení. Před vytvořením modelu byl proveden předběžný návrh dimenzí hlavních prvků. Při tvorbě modelu a aplikaci zatížení muselo být přistoupeno k některým zjednodušením, která však neměla na výsledky výrazný vliv. Jedná se především o aplikaci zatížení pomocí zatěžovacích panelů, počítání s jedním charakteristickým typem podlahy a umístění sloupů osově do okrajů desky. Výsledné vnitřní síly byly použity na návrh výztuže železobetonových prvků. Pro výsledný návrh byla zvolena deska v 2.NP a nejvíce zatížený sloup.

Značení jednotlivých veličin je uvedeno v příslušných kapitolách.



Obrázek 2 - Výsledný model v programu Scie Engineer

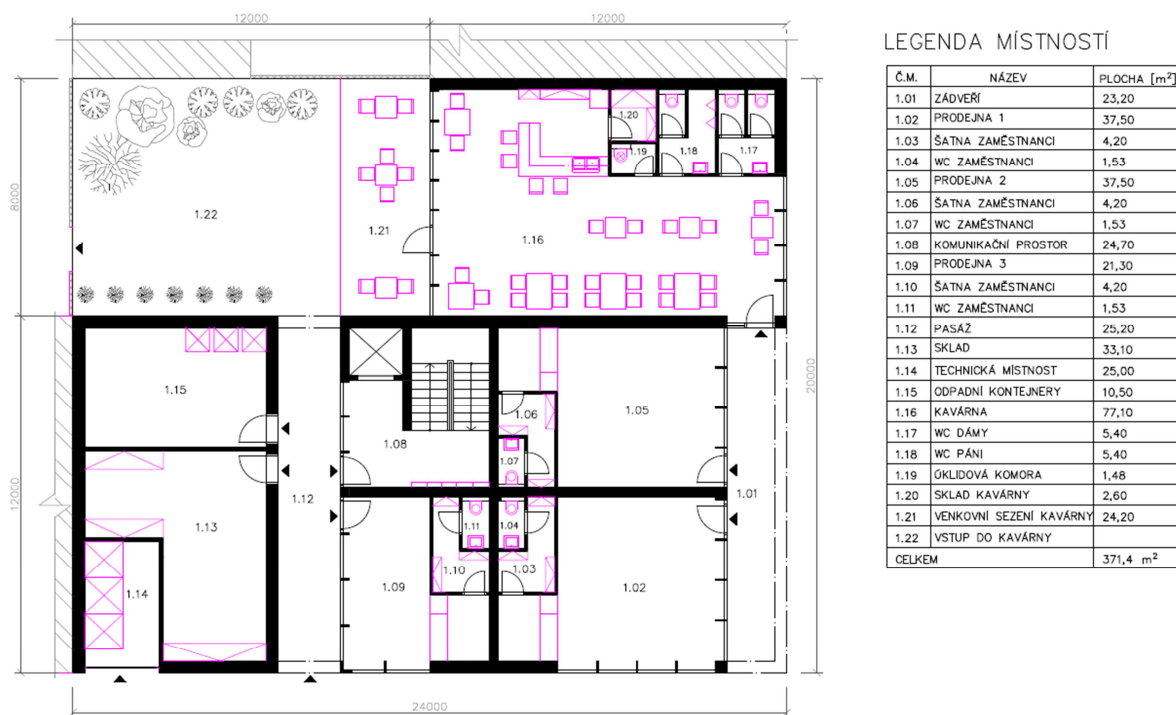
## 2. Popis budovy

Administrativní budova řešená v této práci je čtyřpatrová, pravoúhlá budova tvaru L s plochou střechou. Půdorysné rozměry budovy jsou 24x20 m. Na celé budově je navržena zavěšená fasáda složená ze dvou různě barevných typů plexiskla. Na severovýchodní a severozápadní straně navržena budova přiléhá ke dvěma stávajícím objektům. Z tohoto důvodu nebylo možné ani minimálně měnit půdorysné rozměry pro lepší rozmístění sloupů. Celkový vzhled budovy navrhovaný autorkou studie lze vidět na obrázku 3.

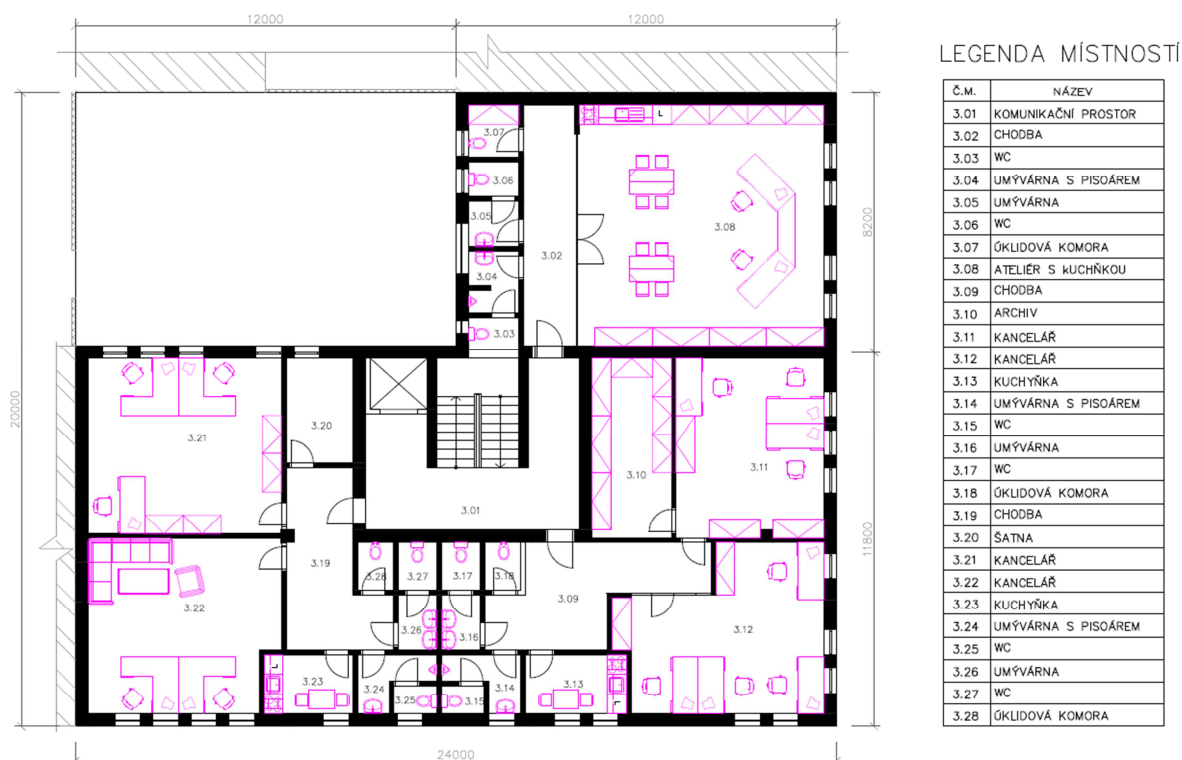


Obrázek 3 - Vizualizace řešené budovy

Přízemí budovy je navrženo jak pro obyvatele budovy, tak pro veřejnost. Jsou zde navrženy tři samostatné prodejny, technická místnost, skladovací prostor, kavárna a prostor pro umístění kontejnerů na odpad. V tomto patře se nachází také hlavní vstup do vyšších pater a průchod do atria. V atriu je navržena zahrádka kavárny a zeleň. Přes vstupní dveře v průchodu se dá projít do prostoru schodiště a výtahu. Celkový vzhled 1.NP lze vidět na obrázku 4.



Obrázek 4 - Studie 1.NP



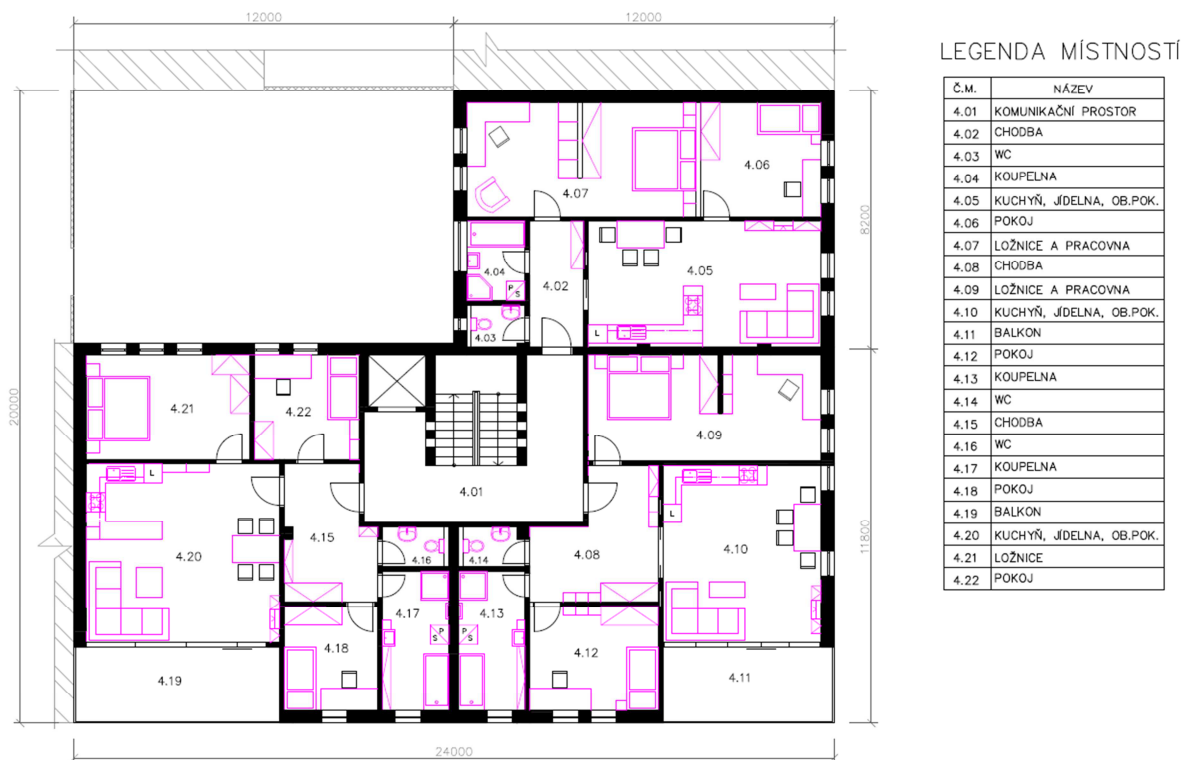
Obrázek 5 - Studie 2. a 3. NP

Druhé a třetí patro budovy jsou určeny pro administrativu. Tato patra jsou vždy dělena na tři samostatné administrativní celky. Tyto celky jsou navrženy tak, aby zahrnovaly kancelářské prostory i prostory pro fotografický, architektonický nebo umělecký ateliér. Tím se maximalizuje možnost využití této budovy. Jednotlivé celky jsou v dalším návrhu odděleny hrubší stěnou. To výrazně napomáhá omezení šíření hluku. Všechny administrativní celky jsou přístupné z prostoru schodišťové chodby. Celkový vzhled 2. a 3. NP je zobrazen na obrázku 5.

Poslední patro je dle autorčina návrhu vyplněno třemi samostatnými byty. Stejně jako do všech předchozích pater se zde dá dostat po schodech nebo výtahem z prostoru komunikačního jádra. Rozvržení plochy bytů odpovídá rozložení jednotlivých administrativních celků. Dva ze tří navržených bytů jsou opatřeny balkóny. Byty jsou v tomto domě navrženy z důvodu módního architektonického propojování funkcí budov. Obrázek půdorysu posledního patra můžeme vidět na obrázku 6.

Předmětem návrhu, který byl také zohledněn je rozmístění místností v jednotlivých patrech tak, aby logicky odpovídaly umístění stoupaček pro vedení sítí. To zapříčinilo největší

zásahy do autorčina návrhu. Pro optimální vedení rozvodů TZB bylo rozhodnuto o mírném zvýšení jednotlivých pater, rozšíření příček a drobné změně rozmístění místností.



Obrázek 6 - Studie 4. NP

### 3. Konstrukční systém

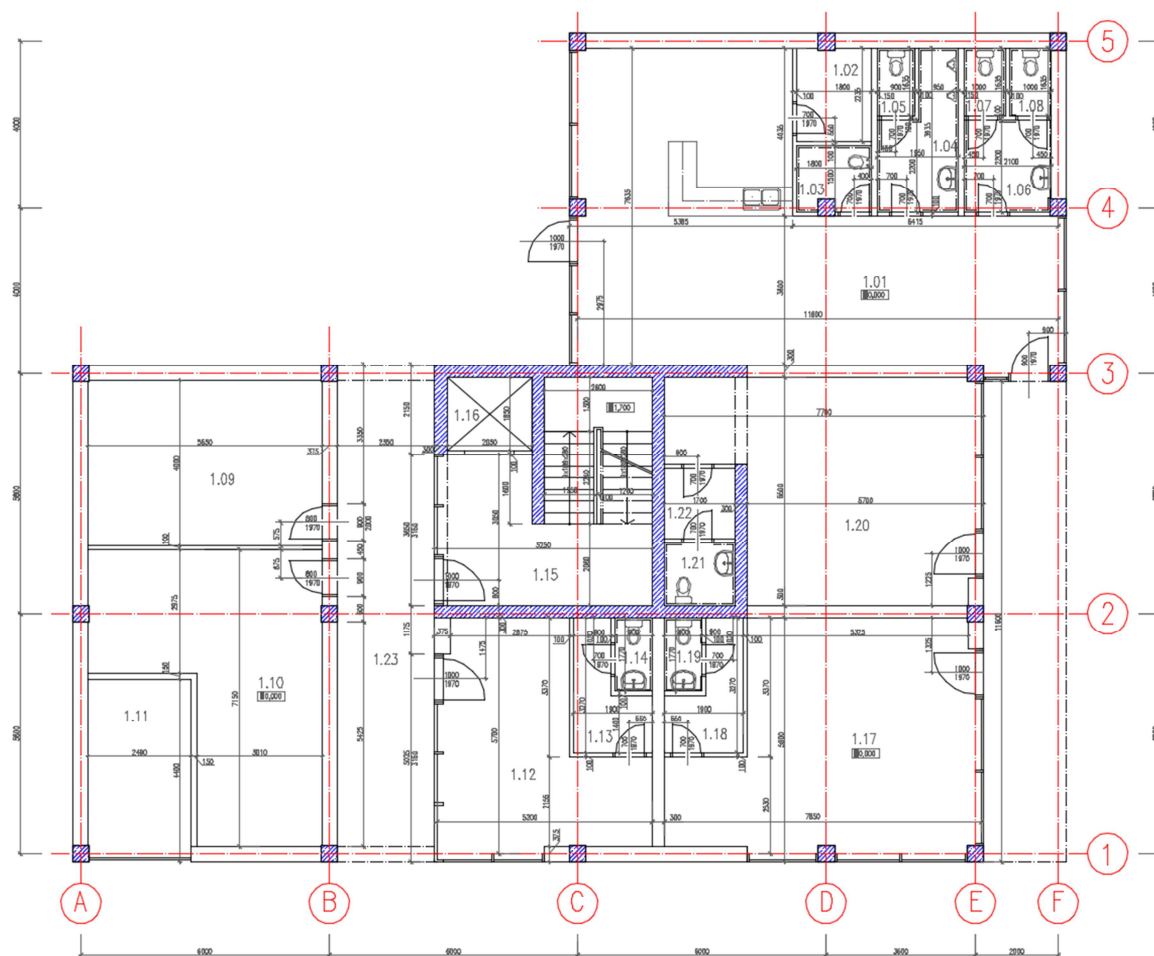
Z důvodu počtu pater a maximální výšky objektu, která nesmí výrazně převyšovat okolní zástavbu bylo rozhodnuto o použití lokálně podepřených desek. Nosná konstrukce je tvořená systémem sloupů a desek z železobetonu. Tuhost budovy zajišťuje navržené komunikační jádro. Výsledné rozmístění sloupů a ztužujícího jádra je na obrázku 7 zvýrazněno modrým šrafováním.

Pro výpočet je navržen beton C30/37 a ocel B500B.

Charakteristiky betonu:  $f_{ck} = 30 \text{ MPa}$ ;  $f_{cd} = \frac{30}{1,5} = 20 \text{ MPa}$

Charakteristiky výztuže:  $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$ ;  $f_{cd} = \frac{500}{1,15} = 434,783 \text{ MPa}$





Obrázek 7 - Ukázka finálního umístění nosných konstrukcí v 1.NP

### ***Založení budovy***

Budova se nachází v místě, kde je v podloží velké množství nasypaných materiálů například z důlní a hutnické činnosti. Dále se dají předpokládat možnosti deformace podloží z důvodu poddolování. Proto bylo předpokládáno využití možnosti aplikace kluzné spáry, která by tyto vlivy částečně omezila. Pro relevantní návrh základů by bylo potřeba zohlednit velké množství faktorů. Proto založení budovy nebude v této práci řešeno. Ve výkresech budou základy kresleny jen schematicky a do modelu budou aplikovány spodní sloupky jako vetknuté.

### 3.1. Předběžný návrh dimenzí prvků

Pro vytvoření výpočtového modelu bylo zapotřebí vytvořit si představu o dimenzích hlavních nosných prvků. Proto byl proveden předběžný výpočet zatížení a orientační návrh prvků. Hodnoty zatížení reprezentují jednotlivé části, které v konstrukci působí. Je počítáno se stálým i užitným zatížením. Výpočty předběžných stálých zatížení se řídí dle vzorce 3.1.1, 3.1.2 a 3.1.3. Zatížení užitná a klimatická jsou zvolena předběžným odhadem.

#### Zjednodušený výpočet zatížení

**Plošné zatížení:**  $g_{ik} = h_i \cdot \gamma_i \text{ [kNm}^{-2} \text{ ]}$  (3.1.1)

Deska  $g_{1k} = 0,25 \cdot 25 = 6,25 \text{ kNm}^{-2}$

Podlaha  $g_{2k} = 0,1 \cdot 20 = 2 \text{ kNm}^{-2}$

Střecha  $g_{3k} = 0,2 \cdot 20 = 4 \text{ kNm}^{-2}$

Užitné byty  $q_{1k} = 1,5 \text{ kNm}^{-2}$

Užitné balkón  $q_{2k} = 3,0 \text{ kNm}^{-2}$

Užitné kanceláře  $q_{4k} = 2,0 \text{ kNm}^{-2}$

Užitné střecha  $q_{5k} = 1,0 \text{ kNm}^{-2}$

Sníh  $q_{6k} = 1,2 \text{ kNm}^{-2}$

Vítr  $q_{7k} = 0,6 \text{ kNm}^{-2}$

**Liniová zatížení:**  $g_{ik} = h_i \cdot b_i \cdot \gamma_i \text{ [kNm}^{-1} \text{ ]}$  (3.1.2)

Fasáda  $g_{4k} = 3,4 \cdot 0,02 \cdot 12 = 0,8 \text{ kNm}^{-1}$

Zdivo  $g_{5k} = 3,4 \cdot 0,375 \cdot 3,5 = 4,1 \text{ kNm}^{-1}$

**Bodová zatížení:**  $G_{ik} = h_i \cdot b_i^2 \cdot \gamma_i \text{ [kN]}$  (3.1.3)

Sloup  $G_{1k} = 3,4 \cdot 0,4^2 \cdot 25 = 13,6 \text{ kN}$

Kde:

$h_i$  výška prvku [m]

$b_i$  šířka prvku [m]

$\gamma_i$  měrná tíha materiálu [ $\text{kNm}^{-3}$ ]

## Výpočet stropní desky

Předpokládáme, že největší šířka stropní desky bude potřebná v úrovni prvního patra v části s konzolou. Pro předběžný návrh počítáme s tloušťkou stropní desky 250 mm a průměrem výztuže 12 mm. Při zjednodušení předpokládáme, že se zatížení z horních pater přenesou přes výplňové obvodové zdivo do pater nižších. Vždy počítáme, že se do okraje desky a přes zdivo do nižších pater přenesou  $\frac{1}{2}$  plošného zatížení v daném patře. Zjednodušený model části budovy je zobrazen na obrázku 9. Pro zjednodušení počítáme, že se přesah desky chová jako konzola. Délka konzoly je pak brána jako vzdálenost mezi osami E a F. Osy jsou na obrázku 7 zobrazeny červenou barvou.

### Plošná zatížení v patrech:

$$f_{di} = \sum g_{ik} \cdot \gamma_G + \sum q_{ik} \cdot \gamma_Q$$

$$f_{d1} = (6,25 + 2) \cdot 1,35 + 2 \cdot 1,5 = 14,1 \text{ kNm}^{-1}$$

$$f_{d2} = (6,25 + 2) \cdot 1,35 + 2 \cdot 1,5 = 14,1 \text{ kNm}^{-1}$$

$$f_{d3} = (6,25 + 2) \cdot 1,35 + 1,5 \cdot 1,5 = 13,4 \text{ kNm}^{-1}$$

$$f_{d4} = (6,25 + 4) \cdot 1,35 + (1 + 1,2 + 0,6) \cdot 1,5 = 17,6 \text{ kNm}^{-1}$$

### Liniové zatížení na konci konzoly:

$$F_d = \sum g_{ik} \cdot \gamma_G$$

$$F_d = (g_{4k} + g_{5k}) \cdot \gamma_G$$

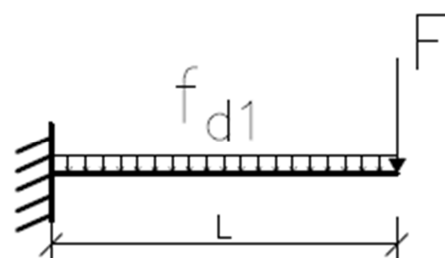
$$F_d = (0,8 + 4,1) \cdot 1,35 \\ = 6,6 \text{ kN}$$

### Celkové zatížení na konci konzoly:

$$F = \sum F_d + \sum f_{di} \cdot \frac{1}{2} \cdot l$$

$$F = 3 \cdot 6,6 + 14,1 \cdot \frac{1}{2} \cdot 2 + 13,4 \cdot \frac{1}{2} \cdot 2 + 17,6 \cdot \frac{1}{2} \cdot 2$$

$$F = 64,9 \text{ kN}$$



Obrázek 8 - Zjednodušený model přesahu desky

***Výsledný maximální ohybový moment:***

$$M_{Ed} = F \cdot l + f_{d1} \cdot l \cdot \frac{l}{2} = 64,9 \cdot 2 + 14,1 \cdot 2 \cdot 1 = 158 \text{ kNm}$$

***Další navržené parametry potřebné k výpočtu***

Tloušťka krycí vrstvy  $c_{nom} = 30 \text{ mm}$

Pevnost betonu  $f_{cd} = 20 \text{ MPa}$

Pevnost oceli  $f_{yd} = 434,783 \text{ MPa}$

Rameno vnitřních sil  $d = h - c_{nom} - \frac{\emptyset}{2} = 250 - 30 - 6 = 214 \text{ mm}$

Plocha výztuže  $A_s = \frac{M_{Ed}}{0,9 \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{158 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 0,214 \cdot 434,783 \cdot 10^6} = 1,89 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$

Potřebná osová vzdálenost  $s_{max} = \frac{\pi d^2}{A_s \cdot 4} = \frac{\pi \cdot 0,012^2}{1,89 \cdot 10^{-3} \cdot 4} = 0,06 \text{ m}$

***Návrh:  $\phi 12/55$  ( $A_s = 2,06 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$ )***

***Únosnost navržené výztuže***

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 2,06 \cdot 10^{-3} \cdot 434,783 \cdot 10^6 = 894,1 \text{ kN}$$

***Výška tlačené oblasti***

$$x = \frac{F_s}{0,9 \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{894,1 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 1,0 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,05 \text{ m} = 50 \text{ mm}$$

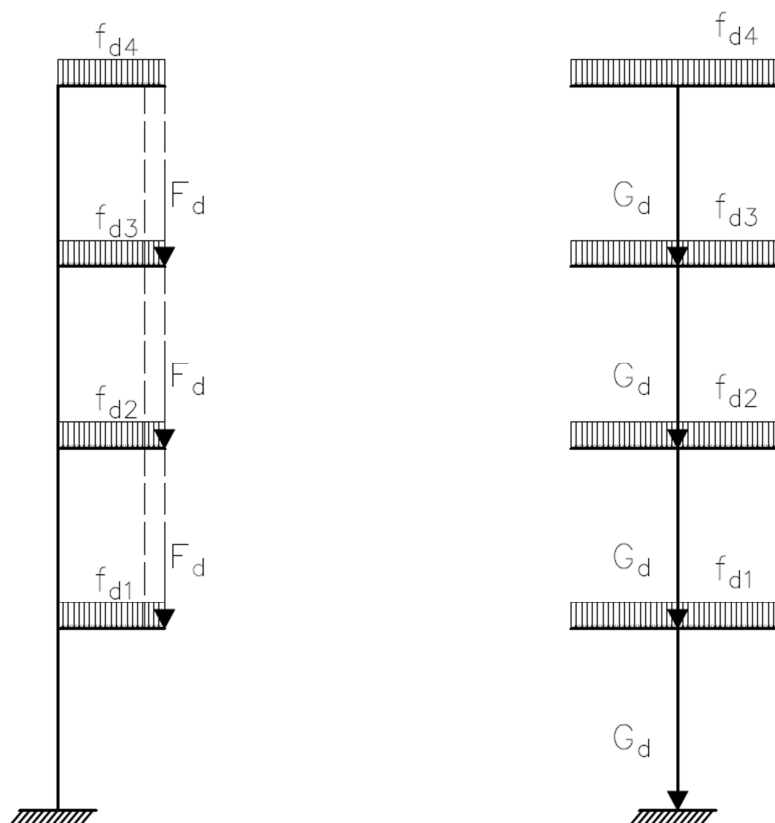
***Momentová únosnost vyztužené betonové desky***

$$M_{RD} = F_s \cdot (d - 0,4 \cdot x) = 894,1 \cdot (0,214 - 0,4 \cdot 0,05) = 173,5 \text{ kNm}$$

$$M_{RD} = 158 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = 173,5 \text{ kNm}$$

**VYHOVUJE**

Osová vzdálenost navržených prutů není ideální ovšem pro předběžný návrh při předpokladu nejhoršího místa je realizovatelná. Proto budeme dále počítat s tloušťkou desky 250 mm.



Obrázek 9 - Nákrasy předběžného návrhu desky a sloupu

### Výpočet sloupu

Předběžný návrh sloupu je velmi podobný předběžnému návrhu desky. Zatížení vztahujeme ke sloupu, který nad sebou má největší plochu k přenesení. Na obrázku 7 je tento sloup na průniku os E2. Plocha nad tímto sloupem je  $A=29,3 \text{ m}^2$ . Pro předběžný návrh počítáme pouze s normálovou silou. Ohybový moment zatím zanedbáme. Nákras přenosu sil z jednotlivých pater do nejnižšího sloupu je naznačen na obrázku 9.

#### *Zatížení v jednotlivých patrech*

$$G_d = G_{k1} \cdot \gamma_G = 13,6 \cdot 1,35 = 18,4 \text{ kN}$$

#### *Celkové zatížení na dolní sloup*

$$G_{\text{celk}} = \sum G_d + \sum f_{di} \cdot A$$

$$G_{\text{celk}} = 4 \cdot 18,4 + 14,1 \cdot 29,3 + 14,1 \cdot 29,3 + 13,4 \cdot 29,3 + 17,6 \cdot 29,3 = 1808,2 \text{ kN}$$

**Potřebná plocha betonového sloupu**

$$A = \frac{N}{f_{cd}} = \frac{1808,2 \cdot 10^3}{20 \cdot 10^6} = 0,09 \text{ m}^2$$

**Délka strany sloupu**

$$a = \sqrt{A} = \sqrt{0,09} = 0,3 \text{ m} = 300 \text{ mm}$$

Z tohoto výpočtu vyplývá, že při aplikaci jen předběžného zatížení, bez zohlednění ohybových momentů a účinku druhého řádu musí mít sloup minimální rozměry 300x300 mm. Po základním návrhu rozmístění jsem se rozhodl navrhnout sloupy 400x400 mm. Tento návrh bude dobře zapadat do rozměrů budovy a měl by být schopný pokrýt zohlednění účinků druhého řádu i skutečné kombinace zatížení.

## **4. Zatížení konstrukce**

Pro zjištění skutečně působících napětí a vnitřních sil v nosných částech konstrukce musíme co nejlépe vystihnout všechny možné zatížení, která se na konstrukci mohou po dobu její životnosti vyskytnout. Zatížení dělíme základně na tři kategorie. Zatížení stálé nahodilé a mimořádné. S mimořádnými zatíženími nebude v této práci počítáno.

### **4.1. Stálá zatížení**

Zatížení stálá jsou charakteristická tím, že se předpokládá jejich nepřetržitý účinek po celou dobu životnosti. Patří zde vlastní tíhy nosných i nenosných konstrukcí.

#### **Vlastní tíha**

Vlastní tíha nosných částí konstrukce je počítána automaticky programem Scia Engineer 2013.1[2] podle zadaných průřezů prvků, šířek a objemových hmotností zvolených materiálů. Zbylé části budovy, které nejsou vymodelovány, jsou zohledněny jako stálé zatížení působící na nosné prvky.

Pro dosažení největší přesnosti výpočtového modelu byl proveden předběžný návrh tloušťek hlavních nosných prvků (viz kapitola 3).

## Zatížení střechy

Na řešené budově se nachází plochá střecha tvořená spádovanými tepelně izolačními dílci, vrstvami hydroizolace, separačními vrstvami a vrstvou ochrannou. Hodnoty objemové tíhy  $\gamma_i$  pro různé materiály jsou brány z ČSN EN 1991-1-1[4], příloha A. Veškeré výpočty plošných zatížení se řídí vzorcem 4.1.1.

### *Tepelná izolace:*

Na ploché střeše je provedeno spádování pomocí tepelně izolačních panelů. Toto spádování způsobí rozdíl ve výšce, a tedy hmotnosti tepelné izolace. Spádování a přesná skladba střechy není předmětem této diplomové práce, a proto bude počítáno s hodnotou  $h=200$  mm, která bude reprezentovat průměrnou vrstvu tepelné izolace.

$$g_{i,k} = h_i \cdot \gamma_i \text{ [kNm}^{-2}\text{]} \quad (4.1.1)$$

$$g_{1,k} = 0,2 \cdot 1,00 = 0,20 \text{ kNm}^{-2}$$

### *Hydroizolace:*

Zatížení od vrstev hydroizolace je nepatrné a dalo by se zanedbat. Pro úplnost bylo rozhodnuto jej spočítat. Na ploché střeše se nachází čtyři vrstvy hydroizolačních pásů z PVC a asfaltu. Drobným zjednodušením je počítání s celkovou výškou pásů 5 mm a objemovou hmotností těžšího materiálu.

$$g_{2,k} = 0,005 \cdot 12 = 0,06 \text{ kNm}^{-2}$$

### *Kačírek:*

Jako ochranná vrstva ploché střechy byl zvolen násyp z kamínků. Tíha kameniva je brána pro frakci 8/16.

$$g_{3,k} = 0,05 \cdot 17 = 0,85 \text{ kNm}^{-2}$$

### *Finální stálé zatížení na desku pod plochou střechou:*

$$g_{s,k} = g_{k1} + g_{k2} + g_{k3} \text{ [kNm}^{-2}\text{]}$$

$$g_{s,k} = 0,20 + 0,06 + 0,85 = 1,1 \text{ kNm}^{-2}$$

## Zatížení betonových desek v patrech

Dá se předpokládat, že betonové desky v jednotlivých patrech budou po celou dobu životnosti zatíženy podlahou, příčkami, podhledem, TZB rozvodem umístěným v podhledech, hlavním obvodovým zdivem a zavěšenou fasádou.

### *Podhled a rozvody:*

Ve všech patrech jsou umístěny sádkartonové podhledy, nad kterými jsou vedeny potřebné rozvody. Finální umístění vzduchotechniky a dalších částí nad podhledem je bez vypracování návrhu technického zabezpečení velmi obtížné. Proto bylo zvoleno zatížení stropní desky hodnotou  $50 \text{ kgm}^{-2}$ .

$$g_{4,k} = 0,5 \text{ kNm}^{-2}$$

### *Obvodové zdivo a fasáda:*

Obvodový plášť je tvořen výplňovým zdivem z tepelně izolačních tvárnic značky YTONG a zavěšenou fasádou. Zatížení, které fasáda vyvodí, se bude liniově přenášet do okraje desek. Dle katalogu [11] je šířka tvárnice 375 mm. Maximální objemová hmotnost je  $\gamma=3 \text{ kNm}^{-3}$ . Zavěšená fasáda je tvořena kovovými kotevními prvky a dvoubarevnými deskami z plexiskla. Tíha desek při šířce 10 mm je  $0,12 \text{ kNm}^{-2}$ .

Zatížení od zdiva	$g_{5,k} = 3 \cdot 0,375 \cdot 3,4 = 3,8 \text{ kNm}^{-1}$
-------------------	--

Zatížení od fasády	$g_{6,k} = 0,12 \cdot 3,4 = 0,4 \text{ kNm}^{-1}$
--------------------	---

Liniové zatížení do okraje desek	$g_{lin,k} = g_{5,k} + g_{6,k} = 4,2 \text{ kNm}^{-1}$
----------------------------------	--

### *Příčky:*

Zdi jsou navrženy z pórobetonu v šířkách 100, 150 a 300 mm. Rozdílná šířka vnitřních nenosných zdí je způsobena rozdílnými požadavky. Příčky šířky 100 mm jsou navrženy pouze k oddělení prostoru. Příčky 150 mm jsou použity v místech, kde je předpokládáno vedení rozvodů vody nebo odpadu. Zdi široké 300 mm jsou pak použity k oddělení jednotlivých celků budovy hlavně ze zvukově izolačních důvodů. Tyto zdi byly modelovány



jako liniové zatížení  $g_{7,k}$  pomocí vzorce 3. 1.2. Zbylé užší příčky byly zohledněny jako přemístitelné pomocí užitého zatížení v kapitole 4.2.

$$g_{7,k} = 0,3 \cdot 3 \cdot 3,4 = 3,1 \text{ kNm}^{-1}$$

#### **Podlaha:**

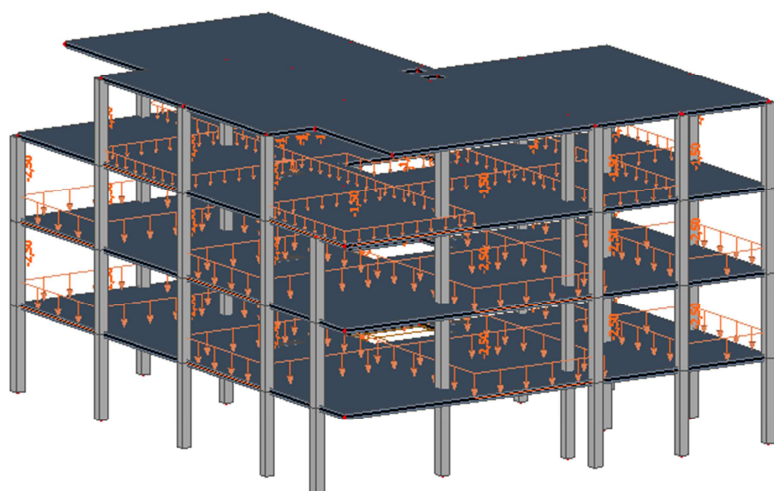
Podlahy v jednotlivých patrech a místnostech mohou být velmi rozdílné jak ve složení, tak výškách vrstev. Navržené podlahy se pohybují od dlažby v sanitárních místnostech po koberce v prostorech kanceláří. Pro zjednodušení bylo přistoupeno k výpočtu hodnoty, která dokáže pojmout všechny podlahy, které by se v budově mohly vyskytnout, a tato hodnota byla aplikována na celou plochu desky. Je počítáno se 100 mm hrubou podlahou s objemovou tíhou  $\gamma = 20 \text{ kNm}^{-3}$  na stranu bezpečnou.

$$g_{8,k} = h \cdot \gamma [\text{kNm}^{-2}]$$

$$g_{8,k} = 0,1 \cdot 20,00 = 2,0 \text{ kNm}^{-2}$$

## **4.2. Nahodilá zatížení**

Na řešený objekt se z pohledu nahodilých zatížení musí aplikovat zatížení užitná a klimatická. Užitná zatížení aplikovaná na model budou pro kancelářské plochy, obytné plochy, posuvné příčky a střechu. Hodnoty užitných zatížení v těchto případech jsou uvedeny v ČSN EN 1991-1-1[4]. Pro maximalizaci účinků užitných zatížení jsem zatížení aplikoval v různých kombinacích pomocí šachovnicového schématu. Jednu z kombinací můžete vidět na obrázku 10.



Obrázek 10 - Náhled šachovnicového umístění užitného zatížení

## Užitná zatížení

**Kategorie A** – obytné plochy a plochy pro domácí činnost

$$q_{1,k} = 1,5 \text{ kNm}^{-2}$$

**Kategorie B** – kancelářské plochy

$$q_{2,k} = 2,5 \text{ kNm}^{-2}$$

**Kategorie H** – střechy nepřístupné s výjimkou běžné údržby a oprav

$$q_{3,k} = 0,75 \text{ kNm}^{-2}$$

### Přemístitelné přičky

Všechny přičky v budově zohledněné jako užitné zatížení jsou přičky s vlastní tíhou  $\leq 2,0 \text{ kNm}^{-1}$ . Hodnotu zatížení pro tento případ nalezneme v ČSN EN 1991-1-1[4].

$$q_{4,k} = 0,8 \text{ kNm}^{-2}$$

## Sníh

Objekt je umístěn na ulici Hollarově v městské části Moravská Ostrava. Ze všech stran bude v blízkém okolí obklopen srovnatelně vysokými budovami. Dle mapy zatížení sněhem na zemi [5] je umístěn v druhé sněhové oblasti. Zatížení sněhem je počítáno na plochou střechu. K objektu nepřiléhá žádná budova, u které by mohlo dojít k navršení sněhu vlivem větru. Výpočet zatížení sněhem je vytvořen podle platné normy ČSN EN 1991-1-3 [6]. Odtávání sněhu na ploše střechy, které by se projevilo v tepelném součiniteli, nebylo zohledněno. Je počítáno s hodnotou  $c_t=1 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ , která je na straně bezpečné.

Sněžná oblast:	II
Typ krajiny:	Normální
Charakteristická hodnota zatížení sněhem:	$s_k=0,85 \text{ kNm}^{-2}$
Součinitel expozice:	$c_e=1$
Tepelný součinitel:	$c_t=1 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$
Tvarový součinitel ploché střechy:	$\mu_1 = 0,8$

Zatížení sněhem:

$$S_i = \mu_i \cdot c_e \cdot c_t \cdot S_k$$

$$s_1 = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,85 = 0,7 \text{ kNm}^{-2}$$

## Vítr

Stavba se nachází v II. větrné oblasti a v oblasti rovnoměrně pokryté zástavbou. Pro tyto podmínky se počítá s výchozí rychlostí větru  $v_{b,0} = 25 \text{ ms}^{-1}$ . Součinitelé směru větru  $c_{dir}$  a ročního období  $c_{season}$  jsou brány dle doporučené hodnoty uvedené v normě ČSN EN 1991-1-4[7]. Dle této normy je maximální dynamický tlak počítán pro dvě referenční výšky. První je výška  $z_{min}=10 \text{ m}$  požadovaná normou. Nad touto výškou se zvyšuje vliv a síla větru. Druhá hodnota je spočítána k celkové výšce objektu  $z_2=14,1 \text{ m}$ . Hodnoty součinitele vnitřního tlaku  $c_{pi}=0,2$  nebo  $c_{pi}=-0,3$  jsou uvažovány tak, aby nastala nejnepríznivější kombinace. K zjištění maximálních účinků je vytvořeno několik zatěžovacích stavů kombinujících směr větru a různé součinitele vnějšího a vnitřního tlaku. Výsledná podoba zatížení je aplikovaná pomocí zatěžovacích panelů. Jeden z výsledných zatěžovacích stavů je zobrazen na obrázku 13.

Větrná oblast:

II

Kategorie terénu:

III

Výchozí základní rychlost větru:

$$v_{b,0} = 25 \text{ ms}^{-1}$$

Součinitel směru větru:

$$c_{dir} = 1$$

Součinitel ročního období:

$$c_{season} = 1$$

Součinitel turbulence:

$$k_I = 1$$

Součinitel ortografie:

$$c_0(z) = 1$$

Parametr drsnosti terénu:

$$z_0 = 1,0 \text{ m}$$

Minimální výška:

$$z_{min} = 10 \text{ m}$$

Výška objektu:

$$z_1 = 14,1 \text{ m}$$

## Výpočet tlaku:

### *Základní rychlost větru:*

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} = 1 \cdot 1 \cdot 25 = 25 \text{ ms}^{-1}$$

**Základní tlak větru:**

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 25^2 = 390,6 \text{ Nm}^{-2}$$

**Součinitel drsnosti terénu:**

$$k_r = 0,19 \cdot \left( \frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07} = 0,19 \cdot \left( \frac{1,0}{0,05} \right)^{0,07} = 0,234$$

$$c_r(10) = k_r \cdot \ln \left( \frac{z_{\min}}{z_0} \right) = 0,234 \cdot \ln \left( \frac{10}{1,0} \right) = 0,539$$

$$c_r(14,1) = k_r \cdot \ln \left( \frac{z}{z_0} \right) = 0,234 \cdot \ln \left( \frac{14,1}{1,0} \right) = 0,619$$

**Střední rychlost větru:**

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b$$

$$v_m(10) = 0,539 \cdot 1 \cdot 25 = 13,5 \text{ ms}^{-1}$$

$$v_m(14,1) = 0,619 \cdot 1 \cdot 25 = 15,5 \text{ ms}^{-1}$$

**Intenzita turbulence:**

$$I_v(z) = \left( \frac{k_I}{c_0(z) \cdot \ln \left( \frac{z}{z_0} \right)} \right)$$

$$I_v(10) = \left( \frac{1}{1 \cdot \ln \left( \frac{10}{1,0} \right)} \right) = 0,434$$

$$I_v(14,1) = \left( \frac{1}{1 \cdot \ln \left( \frac{14,1}{1,0} \right)} \right) = 0,377$$

**Maximální dynamický tlak:**

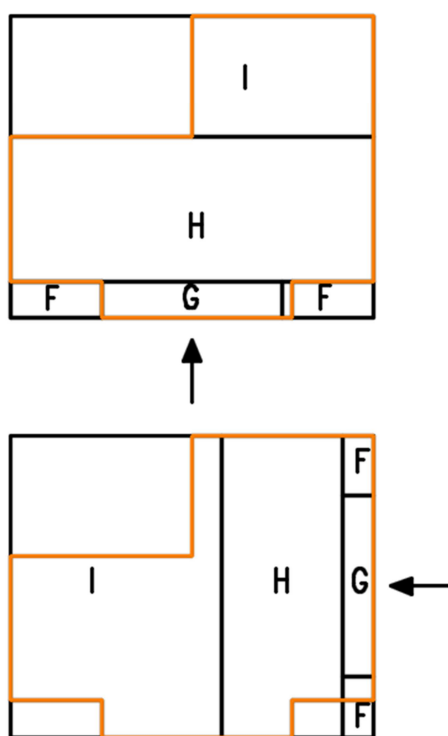
$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z)$$

$$q_p(10) = [1 + 7 \cdot 0,434] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 13,5^2 = 0,46 \text{ kNm}^{-2}$$

$$q_p(14,1) = [1 + 7 \cdot 0,377] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 15,5^2 = 0,55 \text{ kNm}^{-2}$$

### Vítr na ploché střeše

Na řešené stavbě bereme střechu jako plochou protože její sklon  $\alpha < 5^\circ$ . Plochá střecha má být dle ČSN EN 1991-1-4[7] dělena na úseky F, G, H, I s rozdílnými součiniteli  $c_{pe,10}$ . Výsledný tlak se vypočítá podle vzorce 4.2.1. Výsledky jsou spočítány pro vzájemně kolmé směry větru. Tvar ploché střechy není dokonale obdélníkový. Náhled rozmístění úseků pro dva směry větru je zobrazeno na obrázku 11. Oranžovou barvou je vyznačen tvar střechy.



Obrázek 11 - Rozložení větrných zón na střeše pro různé směry větru

Poměr výšky všech pater k výšce atiky potřebný k interpolaci z ČSN EN 1991-1-4[7]

$$\frac{h_p}{h} = \frac{0,5}{13,6} = 0,04$$

Hodnoty interpolovány z tabulky 7.2 z ČSN EN 1991-1-4[7]

$c_{pe,10}^F$	-1,5
$c_{pe,10}^G$	-1,0
$c_{pe,10}^H$	-0,7
$c_{pe,10}^I$	0,2
$c_{pe,10}^I$	-0,2

Tabulka 1 – Hodnoty součinitelů vnějších tlaků pro ploché střechy

***Tlak větru na plochy střechy:***

$$w_k = q_p \cdot (c_{pe,10} - c_{pi}) \quad (4.2.1)$$

Pro  $c_{pi}=0,2$

$$w_k^F = 0,55 \cdot (-1,5 - 0,2) = -0,9 \text{ kNm}^{-2}$$

$$w_k^G = 0,55 \cdot (-1,0 - 0,2) = -0,7 \text{ kNm}^{-2}$$

$$w_k^H = 0,55 \cdot (-0,7 - 0,2) = -0,5 \text{ kNm}^{-2}$$

$$w_k^I = 0,55 \cdot (0,2 - 0,2) = 0 \text{ kNm}^{-2}$$

$$w_k^I = 0,55 \cdot (-0,2 - 0,2) = -0,2 \text{ kNm}^{-2}$$

Pro  $c_{pi}=-0,3$

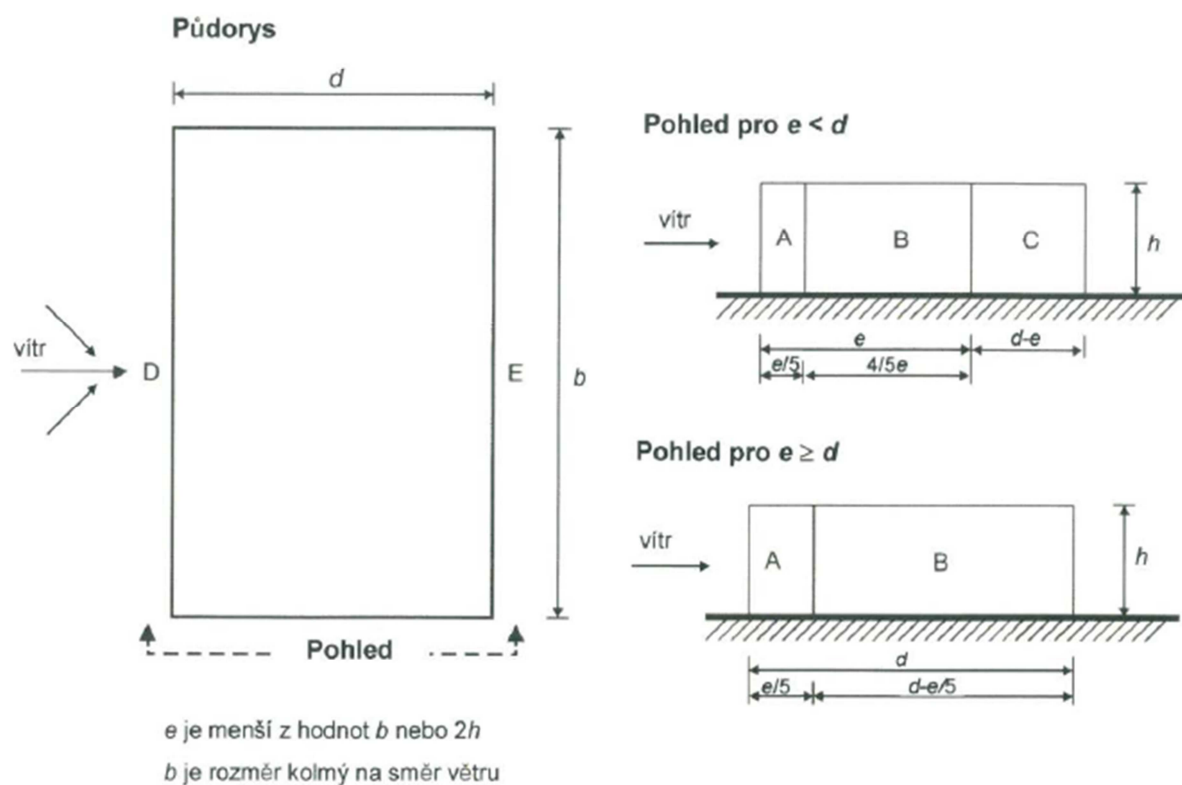
$$w_k^F = 0,55 \cdot (-1,5 + 0,3) = -0,7 \text{ kNm}^{-2}$$

$$w_k^G = 0,55 \cdot (-1,0 + 0,3) = -0,4 \text{ kNm}^{-2}$$

$$w_k^H = 0,55 \cdot (-0,7 + 0,3) = -0,2 \text{ kNm}^{-2}$$

$$w_k^I = 0,55 \cdot (0,2 + 0,3) = 0,3 \text{ kNm}^{-2}$$

$$w_k^I = 0,55 \cdot (-0,2 + 0,3) = 0,1 \text{ kNm}^{-2}$$



Obrázek 12 – Nákres rozložení zón s různým tlakem větru pro svislé konstrukce z [7]

### Vítr na obvodových stěnách

Při aplikaci větru na obvodové stěny musíme zohlednit směr větru a výšku, ve které působí. To způsobí, že se tlak větru na obvodové zdi mění jak po délce, tak výšce zdi. Zóny pro rozdělení tlaků po délce jsou zobrazeny na obrázku 12. Výpočet síly větru na stěny se řídí vzorcem 4.2.1.

**Směr větru kolmý k delší straně:**

Parametry potřebné k interpolaci

$$d = 20\text{m}$$

$$h/d = 0,7$$

$c_{pe,10}^A$	-1,2
$c_{pe,10}^B$	-12
$c_{pe,10}^D$	0,8
$c_{pe,10}^E$	-0,4

Tabulka 2 – Hodnoty součinitelů vnějšího tlaku pro vítr kolmý na delší stranu interpolované z tabulky 7.1 z ČSN EN 1991-1-4 [7]

**Směr větru kolmý ke kratší straně:**

Parametry potřebné k interpolaci

$$d = 24\text{m}$$

$$h/d = 0,6$$

$c_{pe,10}^A$	-1,2
$c_{pe,10}^B$	-1,0
$c_{pe,10}^C$	-0,5
$c_{pe,10}^D$	0,7
$c_{pe,10}^E$	-0,4

Tabulka 3 - Hodnoty součinitelů vnějšího tlaku pro vítr kolmý na kratší stranu interpolované z tabulky 7.1 z ČSN EN 1991-1-4 [7]

**Výsledné zatížení větrem na stěny:**

**Pro  $d=20$  m, výšku do 10 m a  $c_{pi} = 0,2$**

$$w_k^A = 0,46 \cdot (-1,2 - 0,2) = -0,6 \text{ kNm}^{-2}$$

$$w_k^B = 0,46 \cdot (-1,2 - 0,2) = -0,6 \text{ kNm}^{-2}$$

$$w_k^D = 0,46 \cdot (0,8 - 0,2) = 0,3 \text{ kNm}^{-2}$$



$$w_k^E = 0,46 \cdot (-0,4 - 0,2) = -0,3 \text{ kNm}^{-2}$$

**Pro d=20 m, výšku do 10 m a  $c_{pi} = -0,3$**

$$w_k^A = 0,46 \cdot (-1,2 + 0,3) = -0,4 \text{ kNm}^{-2}$$

$$w_k^B = 0,46 \cdot (-1,2 + 0,3) = -0,4 \text{ kNm}^{-2}$$

$$w_k^D = 0,46 \cdot (0,8 + 0,3) = 0,5 \text{ kNm}^{-2}$$

$$w_k^E = 0,46 \cdot (-0,4 + 0,3) = -0,1 \text{ kNm}^{-2}$$

**Pro d=20 m, výšku nad 10 m a  $c_{pi} = 0,2$**

$$w_k^A = 0,55 \cdot (-1,2 - 0,2) = -0,6 \text{ kNm}^{-2}$$

$$w_k^B = 0,55 \cdot (-1,2 - 0,2) = -0,6 \text{ kNm}^{-2}$$

$$w_k^D = 0,55 \cdot (0,8 - 0,2) = 0,3 \text{ kNm}^{-2}$$

$$w_k^E = 0,55 \cdot (-0,4 - 0,2) = -0,3 \text{ kNm}^{-2}$$

**Pro d=20 m, výšku nad 10 m a  $c_{pi} = -0,3$**

$$w_k^A = 0,55 \cdot (-1,2 + 0,3) = -0,4 \text{ kNm}^{-2}$$

$$w_k^B = 0,55 \cdot (-1,2 + 0,3) = -0,4 \text{ kNm}^{-2}$$

$$w_k^D = 0,55 \cdot (0,8 + 0,3) = 0,5 \text{ kNm}^{-2}$$

$$w_k^E = 0,55 \cdot (-0,4 + 0,3) = -0,1 \text{ kNm}^{-2}$$

**Pro d=24 m, výšku do 10 m a  $c_{pi} = 0,2$**

$$w_k^A = 0,46 \cdot (-1,2 - 0,2) = -0,6 \text{ kNm}^{-2}$$

$$w_k^B = 0,46 \cdot (-1,0 - 0,2) = -0,5 \text{ kNm}^{-2}$$

$$w_k^C = 0,46 \cdot (-0,5 - 0,2) = -0,3 \text{ kNm}^{-2}$$

$$w_k^D = 0,46 \cdot (0,7 - 0,2) = 0,2 \text{ kNm}^{-2}$$

$$w_k^E = 0,46 \cdot (-0,4 - 0,2) = -0,3 \text{ kNm}^{-2}$$

**Pro d=24 m, výšku do 10 m a  $c_{pi} = -0,3$**

$$w_k^A = 0,46 \cdot (-1,2 + 0,3) = -0,4 \text{ kNm}^{-2}$$

$$w_k^B = 0,46 \cdot (-1,0 + 0,3) = -0,3 \text{ kNm}^{-2}$$

$$w_k^C = 0,46 \cdot (-0,5 + 0,3) = -0,1 \text{ kNm}^{-2}$$

$$w_k^D = 0,46 \cdot (0,7 + 0,3) = 0,5 \text{ kNm}^{-2}$$

$$w_k^E = 0,46 \cdot (-0,4 + 0,3) = -0,1 \text{ kNm}^{-2}$$

**Pro d=24 m, výšku nad 10 m a  $c_{pi} = 0,2$**

$$w_k^A = 0,55 \cdot (-1,2 - 0,2) = -0,8 \text{ kNm}^{-2}$$

$$w_k^B = 0,55 \cdot (-1,0 - 0,2) = -0,7 \text{ kNm}^{-2}$$

$$w_k^C = 0,55 \cdot (-0,5 - 0,2) = -0,4 \text{ kNm}^{-2}$$

$$w_k^D = 0,55 \cdot (0,7 - 0,2) = 0,3 \text{ kNm}^{-2}$$

$$w_k^E = 0,55 \cdot (-0,4 - 0,2) = -0,3 \text{ kNm}^{-2}$$

**Pro d=24 m, výšku nad 10 m a  $c_{pi} = -0,3$**

$$w_k^A = 0,55 \cdot (-1,2 + 0,3) = -0,5 \text{ kNm}^{-2}$$

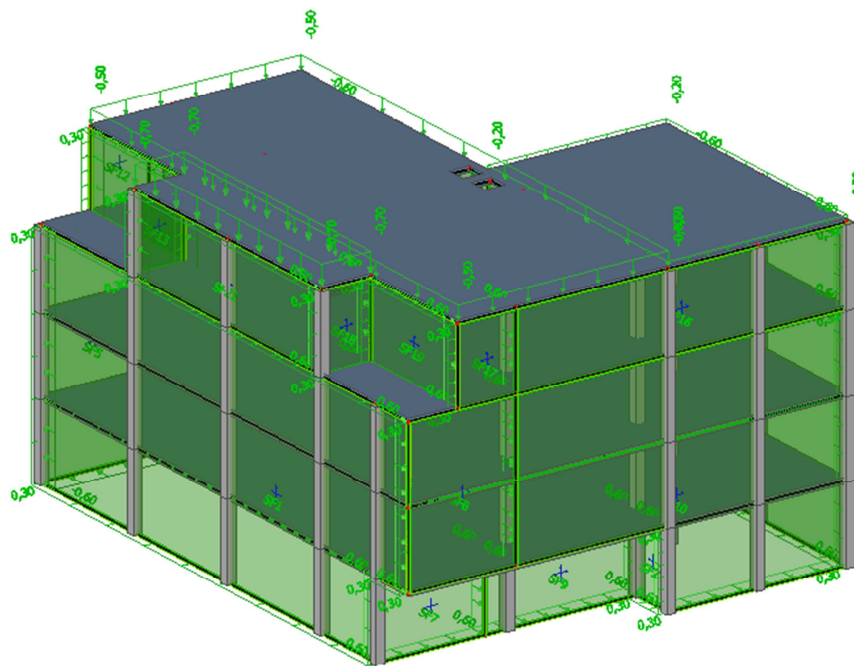
$$w_k^B = 0,55 \cdot (-1,0 + 0,3) = -0,4 \text{ kNm}^{-2}$$

$$w_k^C = 0,55 \cdot (-0,5 + 0,3) = -0,1 \text{ kNm}^{-2}$$

$$w_k^D = 0,55 \cdot (0,7 + 0,3) = 0,5 \text{ kNm}^{-2}$$

$$w_k^E = 0,55 \cdot (-0,4 + 0,3) = -0,1 \text{ kNm}^{-2}$$

Z výsledků vyplývá, že přestože dle ČSN EN 1991-1-4 [7] musí být počítáno se změnou tlaků po výšce, ve skutečnosti je zvýšení tlaků minimální. A tedy se prakticky neprojeví. Například u větru kolmého na kratší stranu je rozdíl v zóně A a B  $0,1 \text{ kNm}^{-2}$ . V zónách C, D a E se neprojeví vůbec.



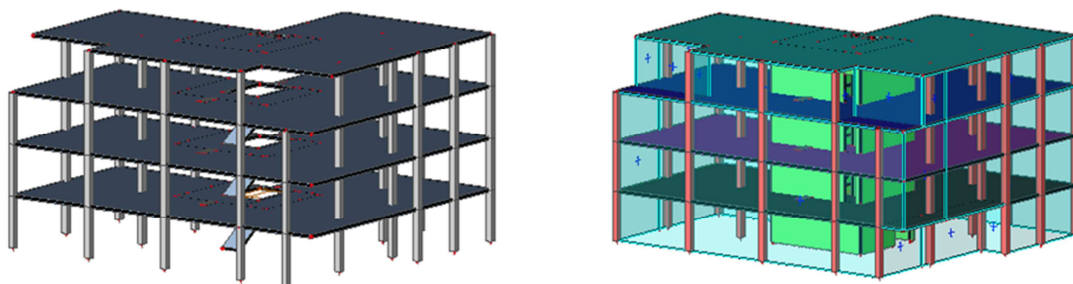
Obrázek 13 - Náhled zatížení větrem na modelu v programu Scia Engineer

## 5. Kombinace zatížení

Kombinace zatížení jsou generovány programem Scie Engineer podle zadaných zatěžovacích stavů a skupin zatížení. Zatěžovací stavy odpovídají vypočteným zatížením v kapitole 4. Zatěžovacím stavům je dále přiřazena skupina zatížení. Při tvorbě modelu byly vytvořeny skupiny pro zatížení stálá, užitná, sníh a vítr. Pro skupiny užitných zatížení a větru byl dále aplikován výběr. Tím nedocházelo ke kombinování dvou zatížení stejného významu. Ve výsledném modelu byly vytvořeny kombinace pro lineární výpočet únosnosti, nelineární výpočet únosnosti a pro mezní stav použitelnosti.

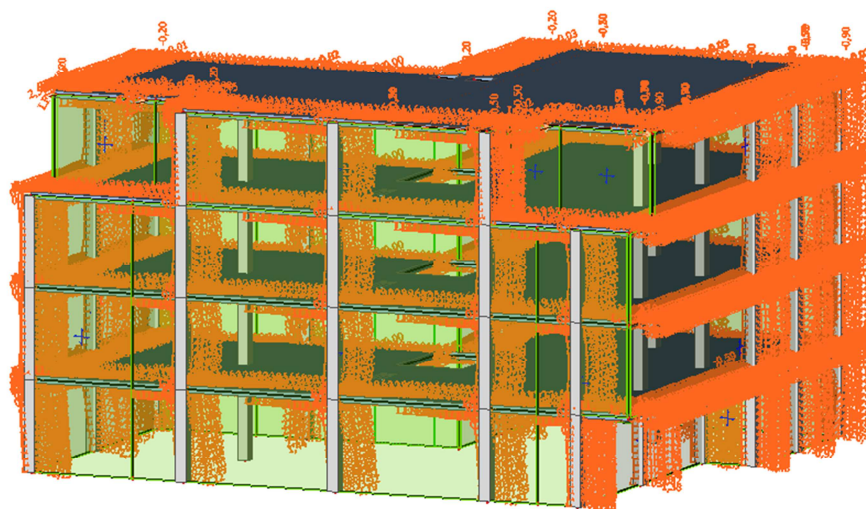
Zatížení v kapitole 4 jsou vypočítána v charakteristických hodnotách. K převodu na výpočtové hodnoty potřebné pro lineární a nelineární kombinace na únosnost jsou jednotlivým zatěžovacím stavům pro výpočet únosnosti přiřazeni součinitelé zatížení  $\gamma_q = 1,5$  a  $\gamma_g = 1,35$ . Zohlednění možnosti příznivého působení zatížení například proti směru sání větru na ploché střeše takřka nemělo účinek, proto tato varianta nebyla dále řešena.

## 6. Model ve Scia Engineer 2013.1

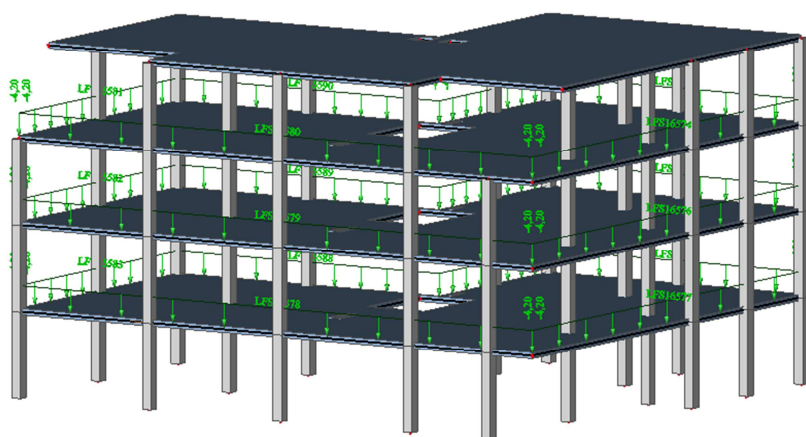


Obrázek 14 - Výsledný model

Výsledný model je vytvořen tak, aby maximálně odpovídal skutečnému chování konstrukce. Celkový model je tvořen deskami jednotlivých pater, sloupy a ztužujícím komunikačním jádrem s deskami schodiště. Výsledná podoba je zobrazena na obrázku 14. Dimenze jednotlivých prvků jsou modelovány dle předběžného návrhu. Na výsledný model bylo aplikováno veškeré vypočtené zatížení. Zatížení větrem na svislé prvky bylo pomocí zatěžovacích panelů převedeno do sloupů a okrajů desek [obrázek 15]. Snahou bylo co nejvíce charakterizovat umístění výplňového zdiva. Stálé zatížení od obvodového zdiva a zavěšené fasády je zobrazeno na obrázku 16.



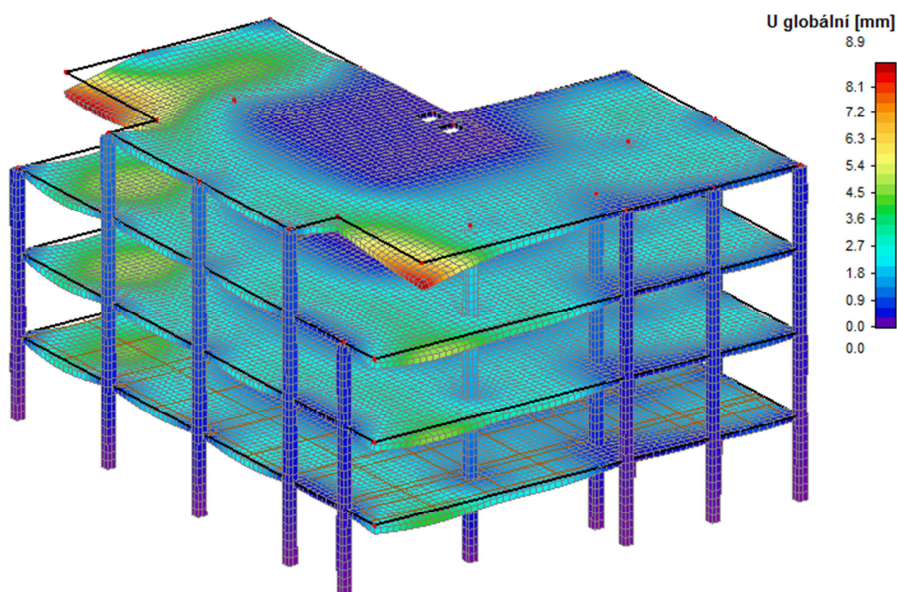
Obrázek 15 - Převedení zatížení od větru



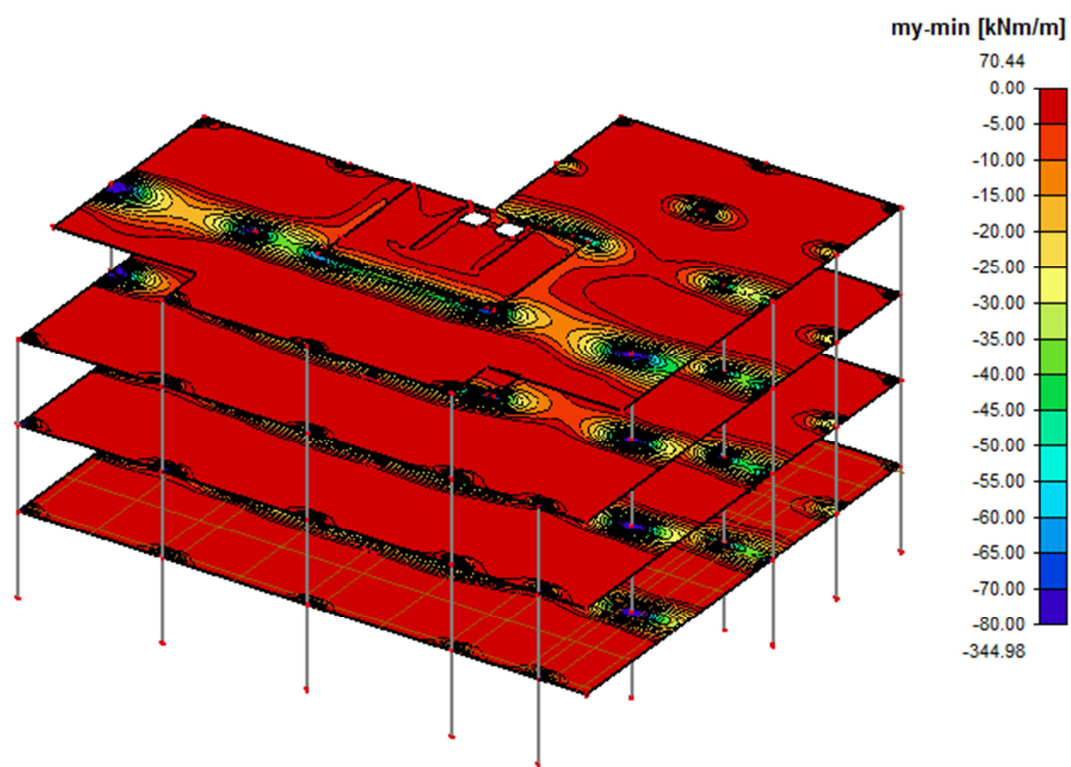
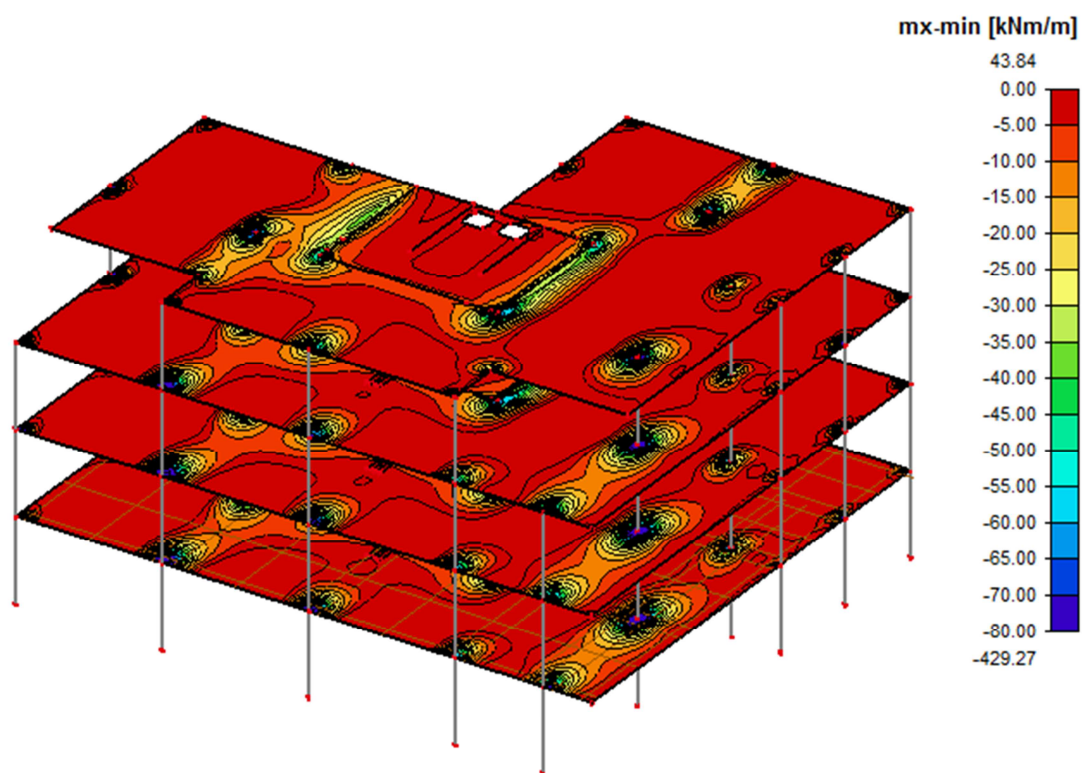
Obrázek 16 - Zatížení od obvodového zdiva a fasády aplikované na model

## 7. Výsledky

Výsledný model poskytuje velké množství výsledků, ze kterých se dá dále vycházet. Pro některé návrhy postačí výsledky vnitřních sil z lineárního výpočtu, pro jiné normy vyžadují použití výpočtu nelineárního. V této kapitole jsou zobrazeny hlavně vnitřní síly, na které bude konstrukce v další kapitole dimenzována.



Obrázek 17 - Náhled deformované konstrukce pro nejhorší kombinaci zatížení

Obrázek 18- Výsledný  $m_y$  na modelu budovyObrázek 19 - Výsledný  $m_x$  na modelu budovy

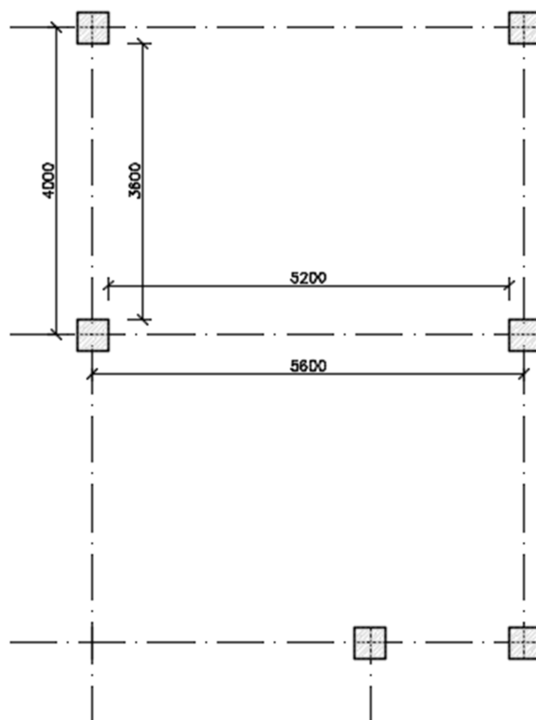


## 7.1. Výpočet vnitřních sil na desce

Z výsledků na výpočtovém modelu [obrázek 18,19] je patrné, že v oblastech nad sloupy vznikají špičky v napětí, které výrazně ovlivňují vykreslení výsledků. Pro zohlednění skutečných velikostí vnitřních sil je potřeba zjistit polohy řezů, ze kterých budou vnitřní síly brány. Pro porovnání jsou vypočteny vnitřní síly v jednom poli pomocí metody součtových momentů a tyto hodnoty porovnány s hodnotami ve zvoleném řezu. Metodu součtových momentů nelze z důvodu podmínek použití pro dimenzování desek ve vybraném objektu využít. Pro porovnání a rozhodnutí o poloze řezu však bude stačit. Jako zvolené reprezentativní pole pro výpočet bereme pole nejvíce vzdálené od ztužujícího jádra budovy. Pro maximalizaci přesnosti je použit výpočtový model zatížený pouze silami, se kterými je počítáno v ručním výpočtu. Ponecháme však možnost šachovnicového rozmístění v kombinacích. Pro výsledný návrh pak využijeme výsledky zjištěné na modelu se vším zatížením.

### Výpočet ohybových momentů dle metody součtových momentů:

Navrhovaná tloušťka desky	$h_s = 250 \text{ mm}$
Vlastní tíha betonové desky	$g_{d,k} = h_s \cdot \gamma_c = 0,25 \cdot 25 = 6,25 \text{ kNm}^{-2}$
Vlastní tíha podlahy	$g_{8,k} = 0,1 \cdot 20,00 = 2,0 \text{ kNm}^{-2}$
Celkové stálé zatížení	$g_d = (g_{d,k} + g_{8,k}) \cdot \gamma_G$ $g_d = (6,25 + 2) \cdot 1,35 = 11,10 \text{ kNm}^{-2}$
Celkové užité zatížení	$q_d = (q_{k,2} + q_{k,3}) \cdot \gamma_Q$ $q_d = (2,5 + 0,75) \cdot 1,5 = 4,88 \text{ kNm}^{-2}$
Celkové zatížení	$f_d = g_d + q_d = 11,10 + 4,88 = 15,98 \text{ kNm}^{-2}$
Rozměry zvoleného pole	$L_x = 5,6 \text{ m}$ $L_y = 4,0 \text{ m}$ $L_{nx} = 5,2 \text{ m}$ $L_{ny} = 3,6 \text{ m}$



Obrázek 20 - Náskres geometrie pro metodu součtových momentů

**Směr x:**

$$b_x = 4,0\text{m}$$

$$f_{d,\text{nosník}} = f_d \cdot b_x = 15,98 \cdot 4 = 63,9\text{kNm}^{-1}$$

Celkový ohybový moment na zvolené části

$$M_{x,\text{TOT}} = \frac{1}{8} \cdot f_{d,\text{nosník}} \cdot L_{nx}^2 = \frac{1}{8} \cdot 63,9 \cdot 5,2^2 = 216,1\text{ kNm}$$

Rozdělení ohybového momentu

$$M_x^+ = 0,35 \cdot M_{x,\text{TOT}} = 0,35 \cdot 216,1 = 75,6\text{ kNm}$$

$$M_x^- = 0,65 \cdot M_{x,\text{TOT}} = 0,65 \cdot 216,1 = 140,5\text{ kNm}$$

**Výpočet dimenzačních momentů směru x:**

Šířka sloupového pruhu  $b_{sl} = 2,0\text{ m}$

Šířka středového pruhu  $b_{stř} = 4,0 - 2,0 = 2,0\text{ m}$



Přepoččet ohybových momentů

$$M_{x,sl}^+ = 0,6 \cdot M_x^+ = 0,6 \cdot 75,6 = 45,4 \text{ kNm}$$

$$M_{x,stř}^+ = 0,4 \cdot M_x^+ = 0,4 \cdot 75,6 = 30,2 \text{ kNm}$$

$$M_{x,sl}^- = 0,75 \cdot M_x^- = 0,75 \cdot 140,5 = 105,4 \text{ kNm}$$

$$M_{x,stř}^- = 0,25 \cdot M_x^- = 0,25 \cdot 140,5 = 35,1 \text{ kNm}$$

Dimenzační momenty

$$m_{x,sl}^+ = \frac{M_{x,sl}^+}{b_{sl}} = \frac{45,4}{2,0} = 22,7 \text{ kNm/m}^2$$

$$m_{x,sl}^- = \frac{M_{x,sl}^-}{b_{sl}} = \frac{105,4}{2,0} = 52,7 \text{ kNm/m}^2$$

$$m_{x,stř}^+ = \frac{M_{x,stř}^+}{b_{sl}} = \frac{30,2}{2,0} = 15,1 \text{ kNm/m}^2$$

$$m_{x,stř}^- = \frac{M_{x,stř}^-}{b_{stř}} = \frac{35,1}{2,0} = 17,6 \text{ kNm/m}^2$$

**Směr y:**

$$b_y = 5,6 \text{ m}$$

$$f_{d,nosník} = f_d \cdot b_y = 15,98 \cdot 5,6 = 89,5 \text{ kNm}^{-1}$$

Celkový ohybový moment na zvolené části

$$M_{y,TOT} = \frac{1}{8} \cdot f_{d,nosník} \cdot L_{ny}^2 = \frac{1}{8} \cdot 89,5 \cdot 3,6^2 = 145,0 \text{ kNm}$$

Rozdělení ohybového momentu

$$M_y^+ = 0,35 \cdot M_{y,TOT} = 0,35 \cdot 145,0 = 50,7 \text{ kNm}$$

$$M_y^- = 0,65 \cdot M_{y,TOT} = 0,65 \cdot 145,0 = 94,3 \text{ kNm}$$

**Výpočet dimenzačních momentů směru y:**

Šířka sloupového pruhu  $b_{sl} = 2,0 \text{ m}$

Šířka středového pruhu  $b_{stř} = 5,6 - 2,0 = 3,6 \text{ m}$

## Přepoččet ohybových momentů

$$M_{y,sl}^+ = 0,6 \cdot M_y^+ = 0,6 \cdot 50,7 = 30,4 \text{ kNm}$$

$$M_{y,stř}^+ = 0,4 \cdot M_y^+ = 0,4 \cdot 50,7 = 20,3 \text{ kNm}$$

$$M_{y,sl}^- = 0,75 \cdot M_y^- = 0,75 \cdot 94,3 = 70,7 \text{ kNm}$$

$$M_{y,stř}^- = 0,25 \cdot M_y^- = 0,25 \cdot 94,3 = 23,6 \text{ kNm}$$

## Dimenzační momenty

$$m_{y,sl}^+ = \frac{M_{y,sl}^+}{b_{sl}} = \frac{30,4}{2,0} = 15,1 \text{ kNm/m}$$

$$m_{y,sl}^- = \frac{M_{y,sl}^-}{b_{sl}} = \frac{70,7}{2,0} = 35,4 \text{ kNm/m}$$

$$m_{y,stř}^+ = \frac{M_{y,stř}^+}{b_{stř}} = \frac{20,3}{3,6} = 5,6 \text{ kNm/m}$$

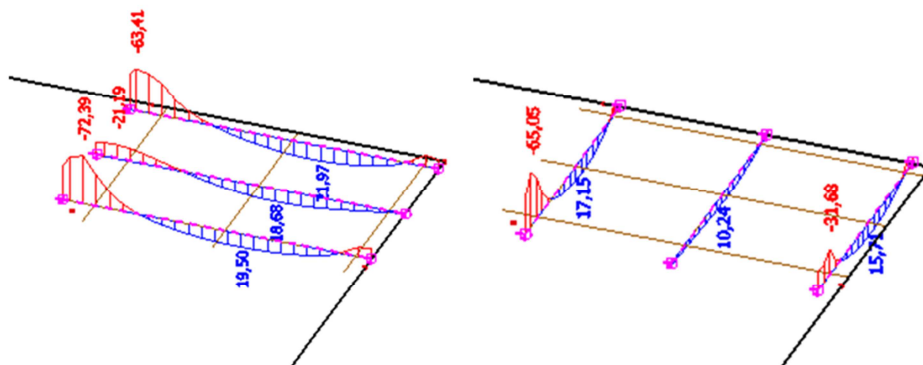
$$m_{y,stř}^- = \frac{M_{y,stř}^-}{b_{stř}} = \frac{23,6}{3,6} = 6,6 \text{ kNm/m}$$

## Výsledky pro porovnání:

Měrné ohybové momenty v deskovém poli	Hodnoty vypočtené dle metody součtových momentů [kNm/m]	Hodnoty z modelu při řezech středem sloupů [kNm/m]	Hodnoty z modelu při řezu posunutém 300 mm mimo střed sloupu [kNm/m]	Hodnoty z modelu při řezu posunutém 400 mm mimo střed sloupu [kNm/m]
$m_{x,sl}^+$	22,7	31,0	29,83	29,4
$m_{x,sl}^-$	-52,7	-199,5	-72,39	-63,2
$m_{x,stř}^+$	15,1	25,0	25,0	25,0
$m_{x,stř}^-$	-17,6	-21,2	-21,2	-21,2
$m_{y,sl}^+$	15,1	23,5	22,9	22,4
$m_{y,sl}^-$	-35,4	-149,1	-65,05	-57,7
$m_{y,stř}^+$	5,6	14,3	14,3	14,3
$m_{y,stř}^-$	-6,5	3,72	3,72	3,72

Tabulka 4 - Porovnání ručního výpočtu s výsledky na modelu

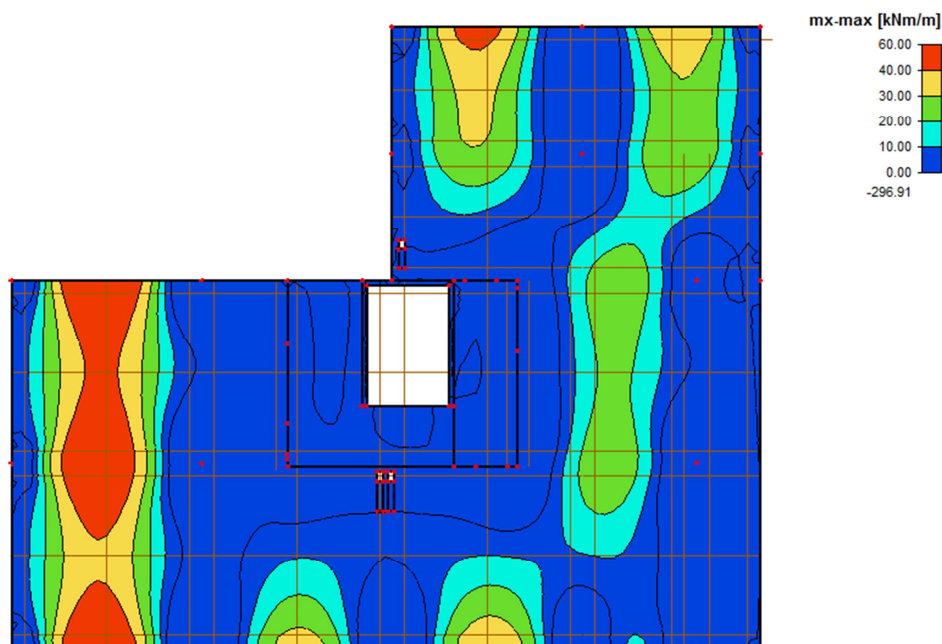
V tabulce 4 jsou zapsány hodnoty získané z modelu v programu Scia Engineer [obrázek 21] a z ručního výpočtu. Z výsledků vyplývá, že při relativně malém posunu řezu dále od místa působení sloupu dojde k výraznému snížení vnitřních sil v záporných špičkách. Tímto krokem se snažíme zohlednit skutečnou tloušťku sloupu a skutečné působení desky. Výsledné vnitřní síly pro návrh budou brány 400 mm od středu sloupu.



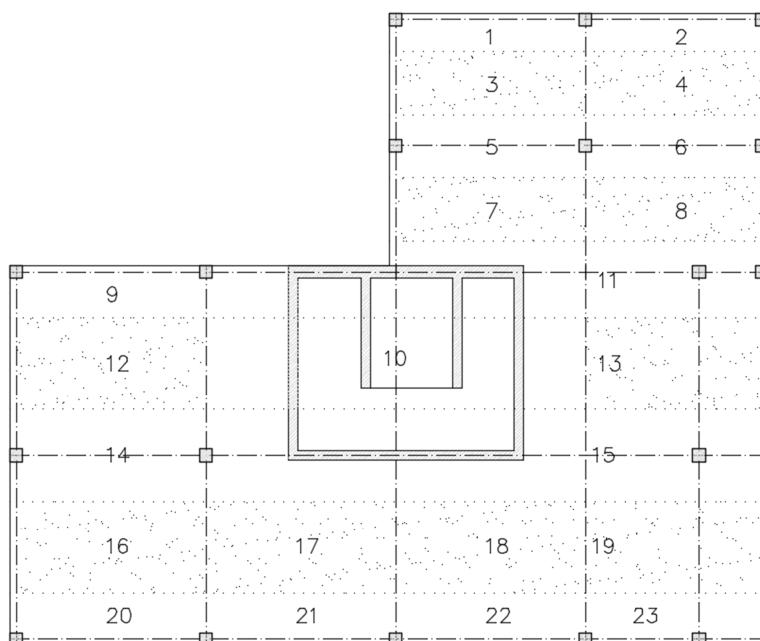
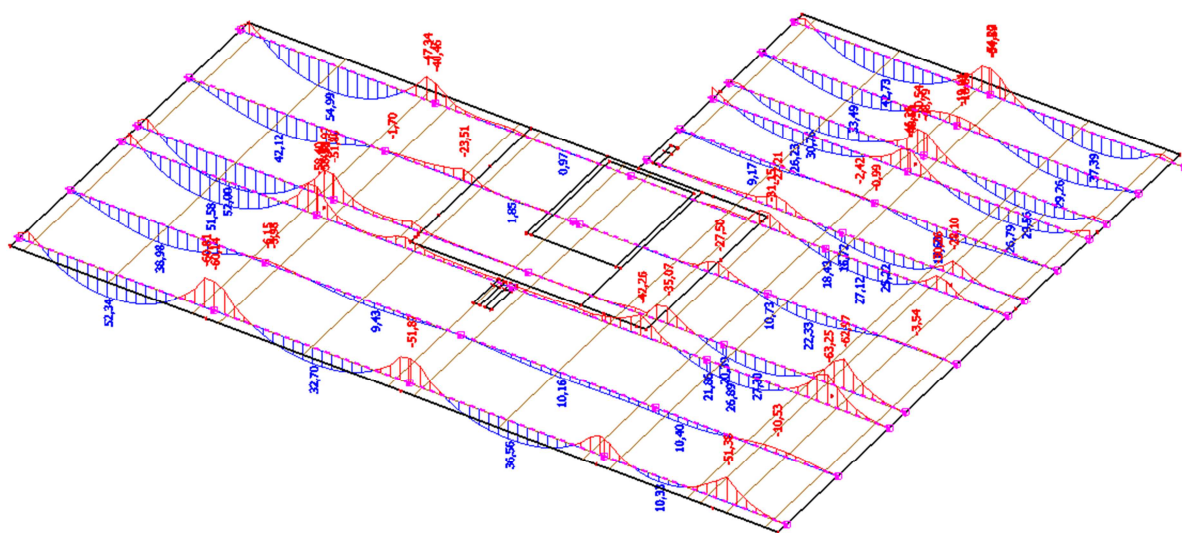
Obrázek 21 – Vykreslení minimálních  $m_x^-$  a  $m_x^+$  v řezech vzdálených 300 mm od středů sloupů ze samostatného modelu

### Měrný ohybový moment ve směru x- $m_x^+$ [kNm/m]

Pro zjištění výsledků na dimenzování byla deska rozdělena na desková pole a ty dále na sloupové a středové zóny [obrázek 23].



Obrázek 22 - Vykreslené maximální  $m_x$  ze všech spočtených kombinací

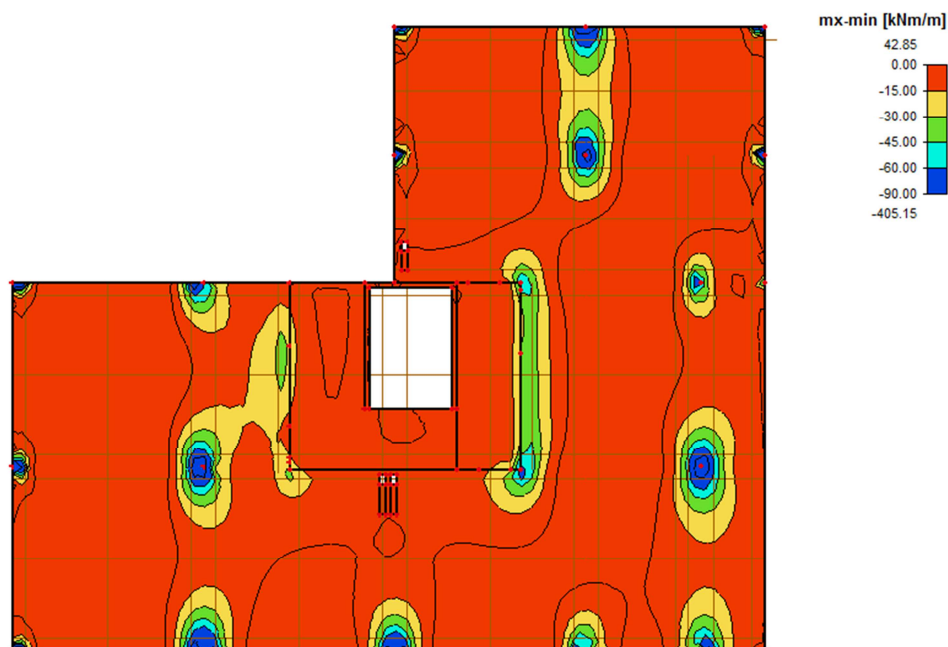
Obrázek 23 - Označení zón pro zjištění vnitřních sil  $m_x^+$ Obrázek 24 - Výsledné maximální  $m_x^+$  ve zvolených řezech

Zóna	Měrný ohybový moment $m_x^+$
1	42,73 kNm/m
2	37,39 kNm/m
3	33,49 kNm/m
4	29,26 kNm/m
5	30,76 kNm/m
6	28,98 kNm/m
7	9,17 kNm/m
8	16,66 kNm/m
9	54,99 kNm/m
10	1,91 kNm/m
11	27,12 kNm/m

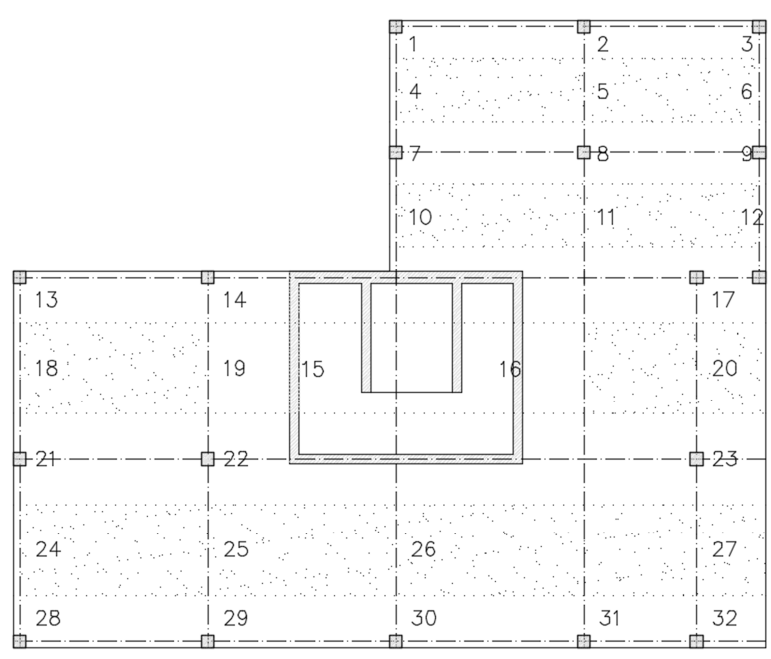
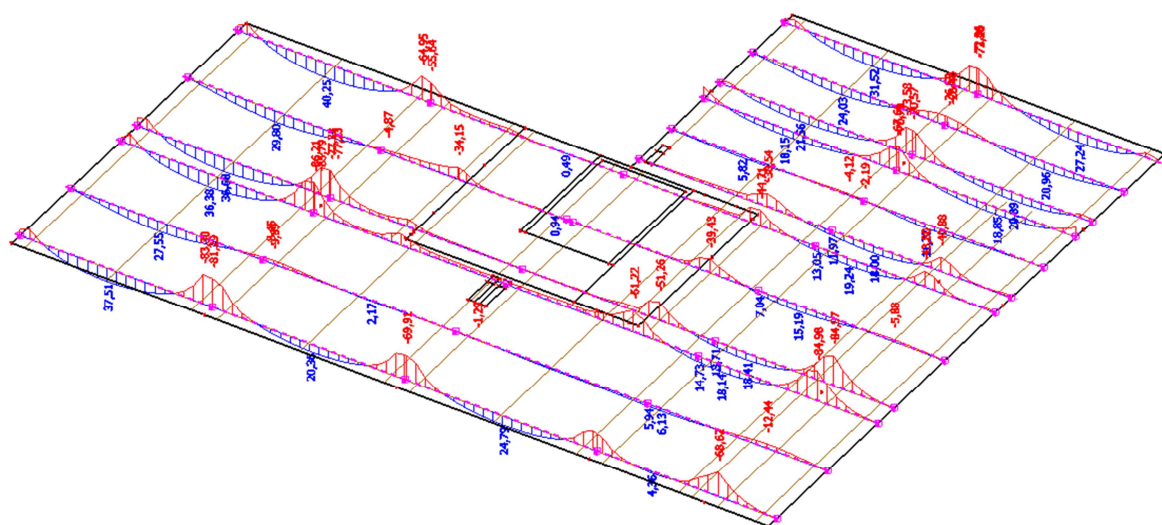
12	42,12 kNm/m
13	22,33 kNm/m
14	52,00 kNm/m
15	26,89 kNm/m
16	38,98 kNm/m
17	9,43 kNm/m
18	10,16 kNm/m
19	10,40 kNm/m
20	52,34 kNm/m
21	32,70 kNm/m
22	36,56 kNm/m
23	10,33 kNm/m

### Měrný ohybový moment ve směru x - $m_x^-$ [kNm/m]

Pro zjištění výsledků v záporných hodnotách je pro přehlednost upraveno číslování míst, ze kterých jsou hodnoty brány [obrázek 26].



Obrázek 25 - Vykreslené minimální  $m_x$  ze všech spočtených kombinací

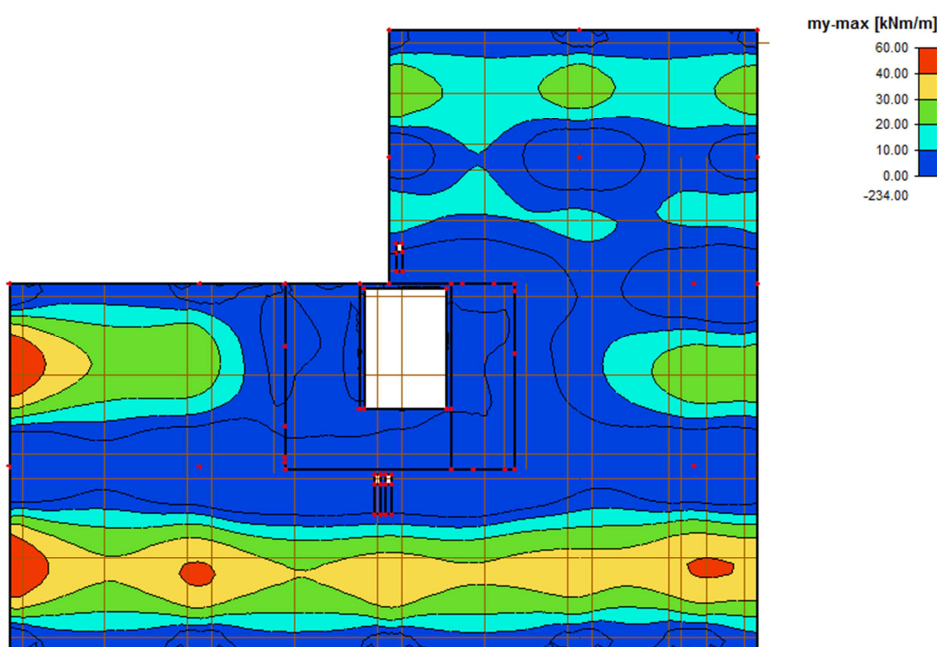
Obrázek 26 - Označení zón pro zjištění vnitřních sil  $m_x^-$ Obrázek 27 - Výsledné minimální  $m_x^-$  ve zvolených řezech

<b>Zóna</b>	<b>Měrný ohybový moment <math>m_x</math></b>
1	18,05 kNm/m
2	73,26 kNm/m
3	13,14 kNm/m
4	0,05 kNm/m
5	26,40 kNm/m
6	-
7	32,84 kNm/m
8	73,58 kNm/m
9	27,90 kNm/m
10	-
11	4,12 kNm/m
12	0,01 kNm/m
13	29,29 kNm/m
14	64,95 kNm/m
15	34,15 kNm/m
16	61,22 kNm/m

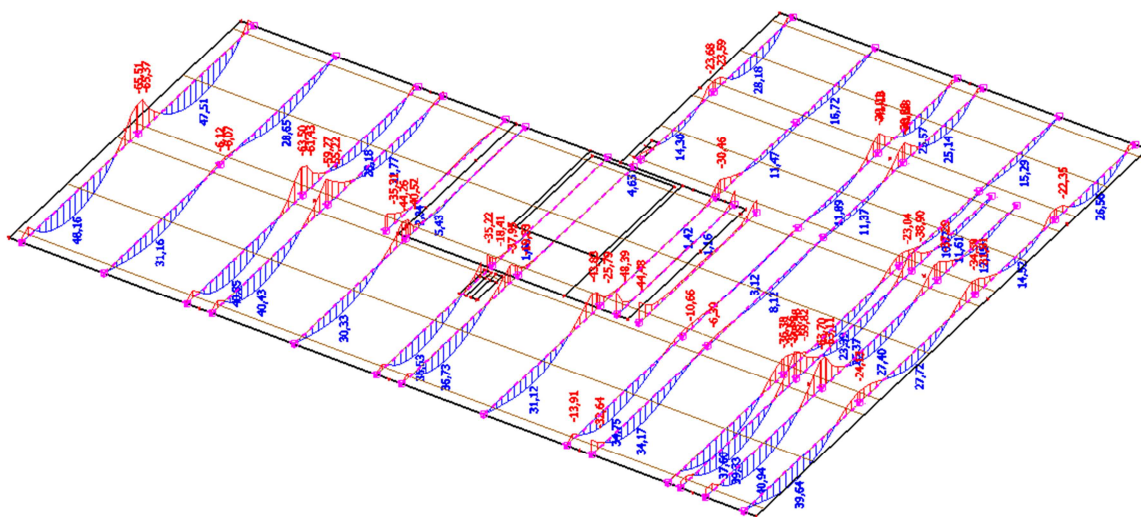
17	43,80 kNm/m
18	-
19	4,87 kNm/m
20	5,88 kNm/m
21	30,63 kNm/m
22	86,21 kNm/m
23	84,98 kNm/m
24	-
25	9,99 kNm/m
26	1,29 kNm/m
27	12,44 kNm/m
28	28,35 kNm/m
29	83,30 kNm/m
30	69,91 kNm/m
31	54,28 kNm/m
32	58,62 kNm/m

## Měrný ohybový moment ve směru y - $m_y^+$ [kNm/m]

Při zjišťování měrných ohybových momentů ve směru y jsem postupoval stejně jako ve směru x.



Obrázek 28 - Vykreslené maximální  $m_y$  ze všech spočtených kombinací

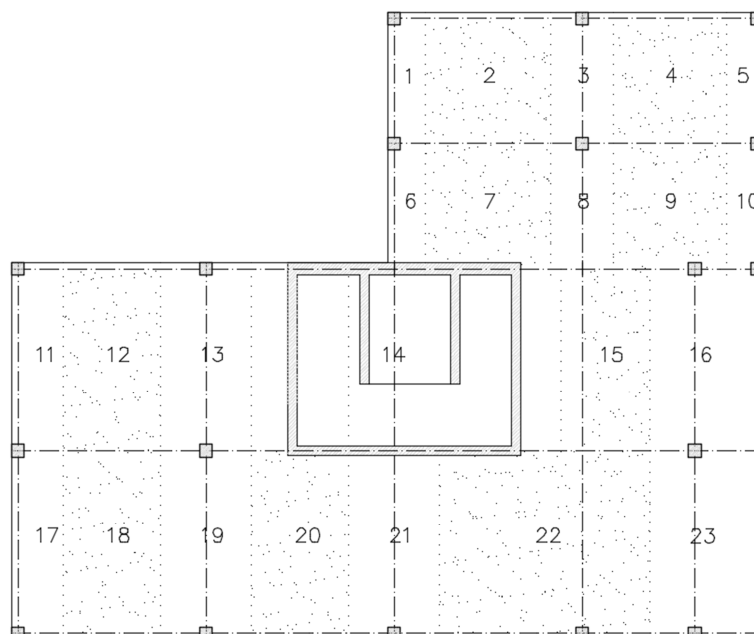


Obrázek 29 - Výsledné maximální  $m_y^+$  ve zvolených řezech

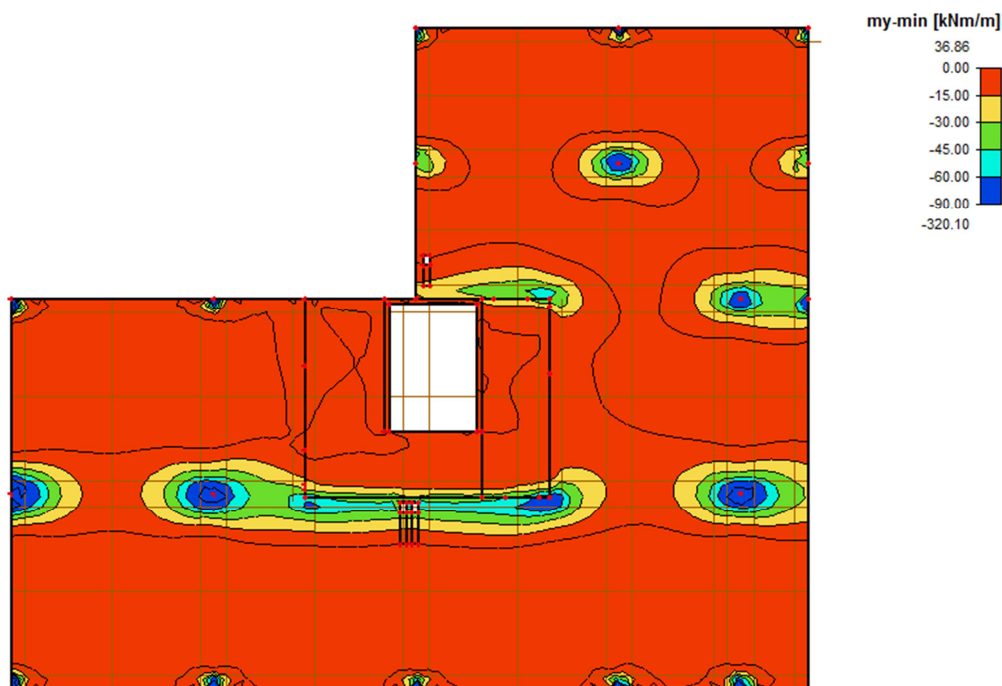


Zóna	Měrný ohybový moment $m_y^+$
1	28,18 kNm/m
2	16,72 kNm/m
3	25,57 kNm/m
4	15,29 kNm/m
5	26,56 kNm/m
6	14,30 kNm/m
7	11,47 kNm/m
8	11,89 kNm/m
9	10,87 kNm/m
10	14,52 kNm/m
11	47,51 kNm/m

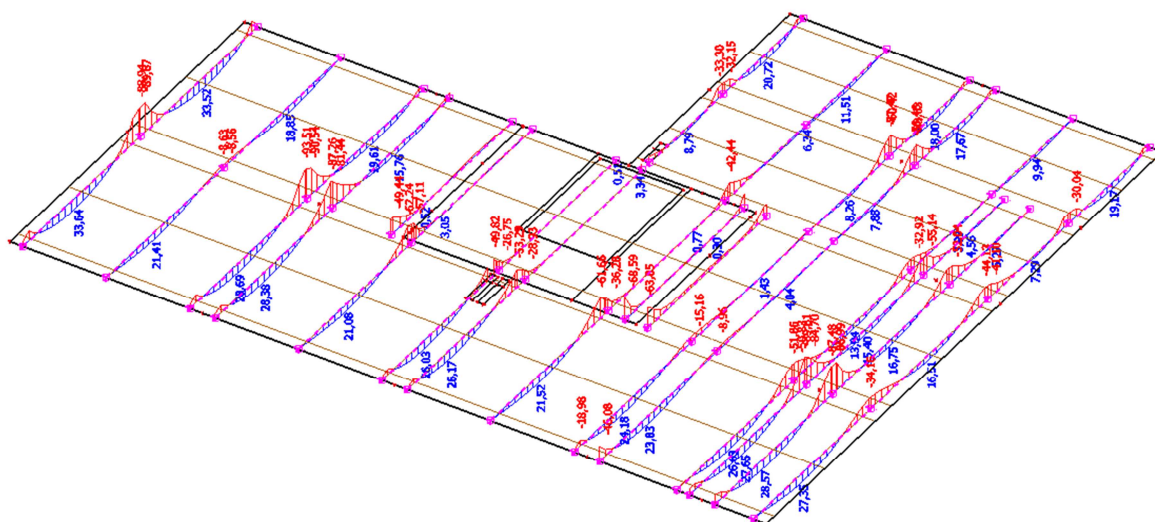
12	28,65 kNm/m
13	28,18 kNm/m
14	5,43 kNm/m
15	8,12 kNm/m
16	27,72 kNm/m
17	48,16 kNm/m
18	31,16 kNm/m
19	40,85 kNm/m
20	30,33 kNm/m
21	36,73 kNm/m
22	34,75 kNm/m
23	40,94 kNm/m

Obrázek 30 - Označení zón pro zjištění vnitřních sil  $m_y^+$

# Měrný ohybový moment ve směru y - $m_y$ [kNm/m]



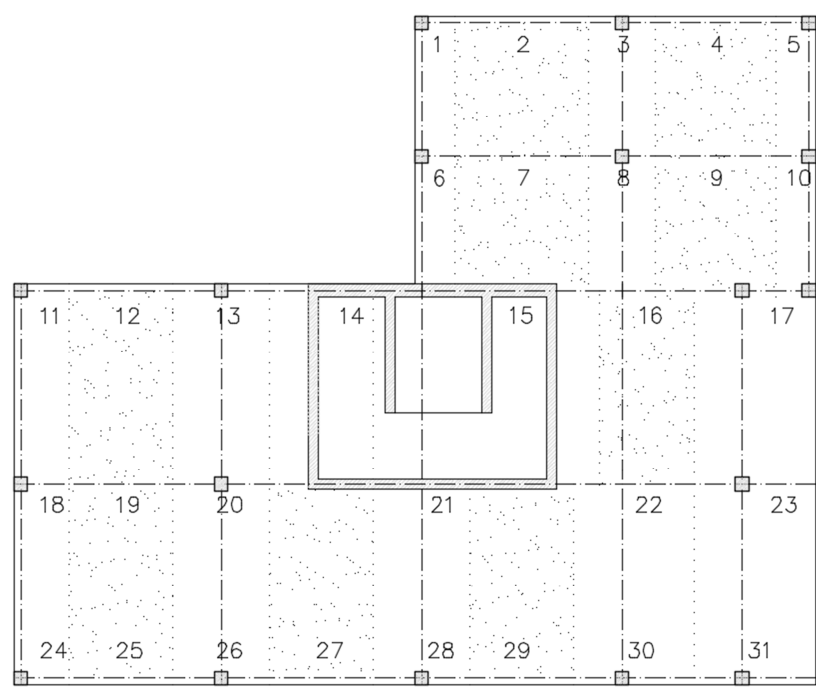
Obrázek 31 - Vykreslené minimální  $m_y$  ze všech spočtených kombinací



Obrázek 32 - Výsledné minimální  $m_y$  ve zvolených řezech

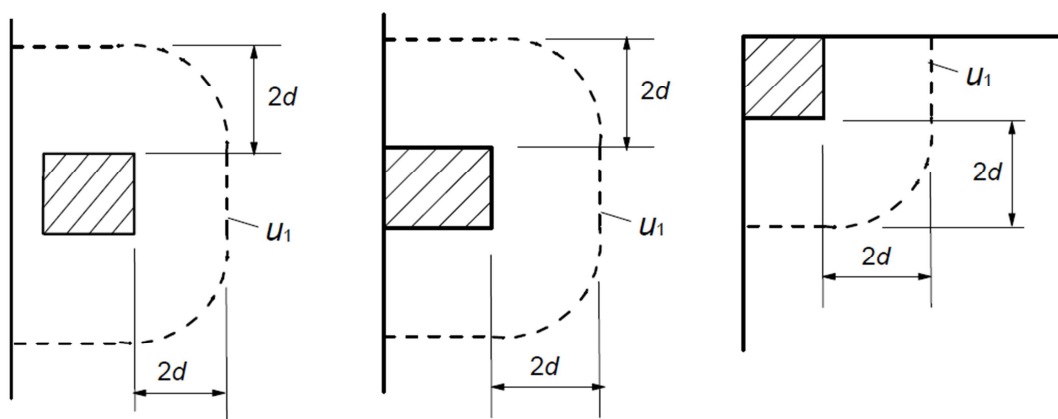
Zóny	Měrný ohybový moment $m_y^-$
1	14,39 kNm/m
2	-
3	12,15 kNm/m
4	-
5	13,94 kNm/m
6	32,15 kNm/m
7	-
8	60,42 kNm/m
9	-
10	30,04 kNm/m
11	31,06 kNm/m
12	-
13	16,10 kNm/m
14	0,1 kNm/m
15	44,30 kNm/m
16	3,43 kNm/m

17	44,13 kNm/m
18	89,67 kNm/m
19	8,56 kNm/m
20	93,51 kNm/m
21	68,59 kNm/m
22	15,16 kNm/m
23	89,81 kNm/m
24	29,54 kNm/m
25	-
26	23,81 kNm/m
27	-
28	16,31 kNm/m
29	-
30	18,98 kNm/m
31	29,17 kNm/m

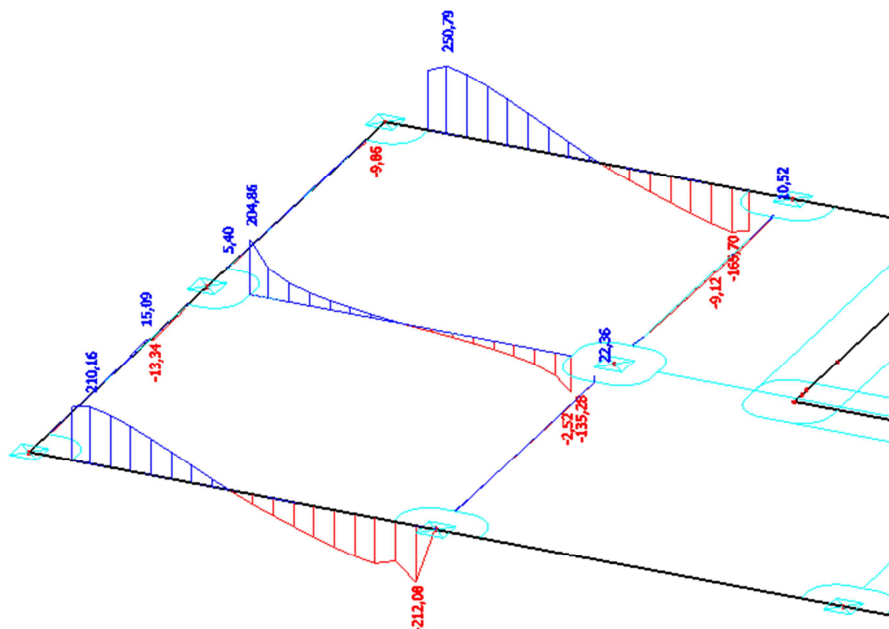
Obrázek 33 - Označení zón pro zjištění vnitřních sil  $m_y^-$

### Posouvací síly na desce pro posudek na protlačení sloupu deskou

Dle ČSN EN 1992-1-1 [3] se má smyk při protlačení posoudit v líci sloupu a na základním kontrolovaném obvodu  $u_1$ . Pro posudek jsou brány maximální síly vznikající na desce. Vykreslení výsledků je zobrazeno na obrázku 34 a 35.



Obrázek 34 - Základní kontrolované obvody pro zatěžovanou plochu v blízkosti okraje nebo rohu [3]



Obrázek 35 - Vykreslení měrných posouvajících sil na desce k prvnímu kontrolovanému obvodu

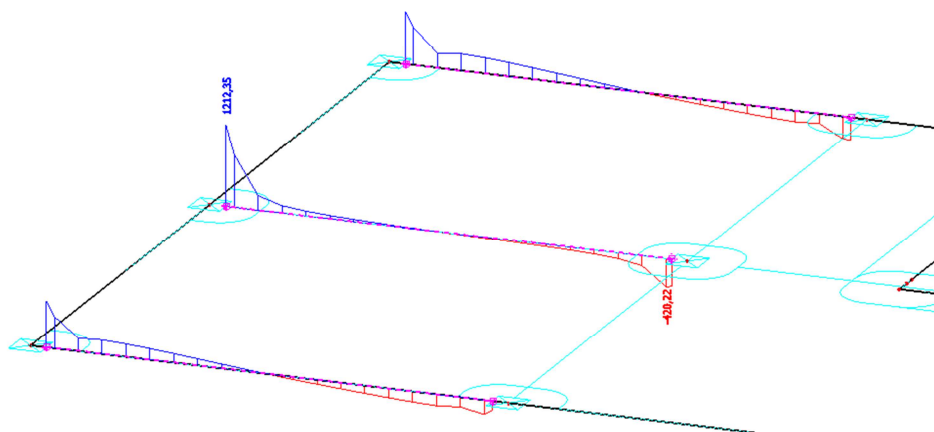
**Výsledné síly pro dimenzování:**

Největší měrná posouvající síla u líce sloupu

$$V_{Ed,0} = 1212,4 \text{ kN}$$

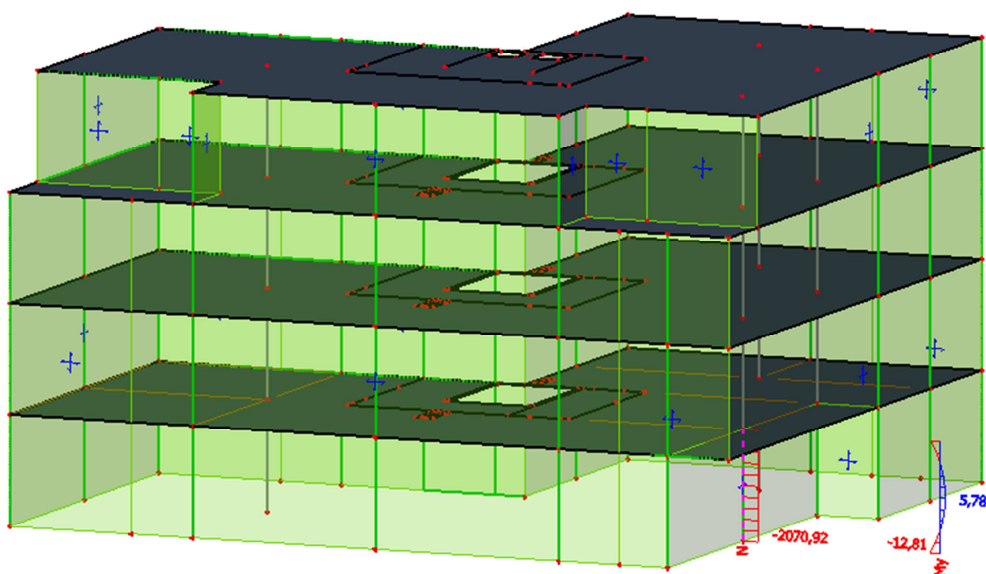
Největší měrná posouvající síla na prvním kontrolovaném obvodu

$$V_{Ed,u1} = 250,86 \text{ kN}$$

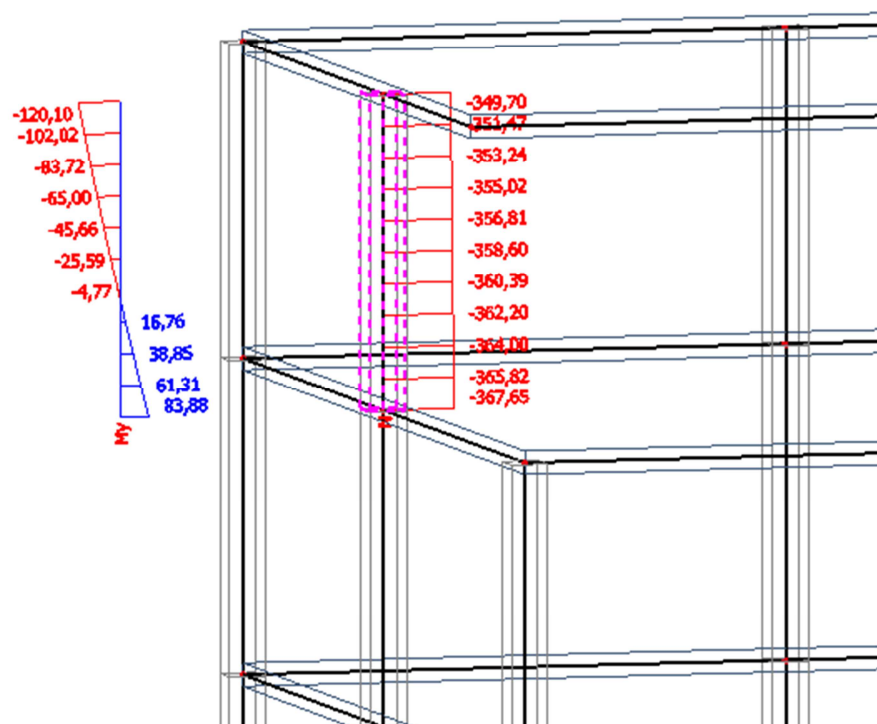


Obrázek 36 - Vykreslení měrných posouvajících sil na desce k líci sloupu

## 7.2. Vnitřní síly na sloupu



Obrázek 37 - Vykreslení maximální normálové síly a příslušného ohybového momentu ve sloupu při nelineárním výpočtu



Obrázek 38- Vykreslení maximálního ohybového momentu na sloup a jeho příslušné normálové síly

Pro návrh sloupu je potřeba zjistit maximální účinky, které vyvodí zatížení do sloupu. Pro posudek jsou brány maximální normálová síla a jí příslušný ohybový moment. Dále pak maximální ohybový moment a k němu příslušná normálová síla. Dle výpočtu v kapitole 8 je potřeba u sloupu zohlednit účinky druhého řádu. Proto jsou všechny hodnoty brány z nelineárního výpočtu. Tento výpočet v programu Scia Engineer účinky druhého řádu zohlednil.

#### **Potřebné síly:**

$$N_{Ed,max} = 2070,92 \text{ kN} \quad \rightarrow \quad M_{přisl} = 12,8 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,max} = 120,1 \text{ kNm} \quad \rightarrow \quad N_{přisl} = 349,7 \text{ kN}$$

## 8. Návrh vybraných částí konstrukce

### 8.1. Deska – ohybová výztuž

Pro návrh byla vybrána deska v 2NP. Tato deska se nachází v prostředí XC1. Průběh vnitřních měrných sil na jednotlivých polích, které musí deska přenést, je zobrazen na obrázcích 22, 25, 28, 32. Pro návrh bylo potřeba zjistit síly, na které bude deska navrhována. Tyto síly jsou uvedeny v předchozí kapitole. Pro lepší orientaci v návrhu je deska rozdělena na jednotlivé zóny a v těchto zónách je dále navrhována výztuž. Vyztužení desky bude vytvořeno převážně pomocí kari sítí. Kari síť bude v celé ploše navržena k přenesení reprezentativní hodnoty ohybových momentů. V místech, kde bude měrný ohybový moment vyšší, než tato hodnota budou přidány pruty betonářské výztuže.

#### *Charakteristiky materiálů:*

Beton: C30/37

$$\gamma_c=1,5$$

$$f_{ck}=30 \text{ MPa}$$

$$\alpha_c=1,0$$

$$\lambda=0,8$$

$$f_{cd} = \alpha_c \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 1,0 \cdot \frac{30}{1,5} = 20 \text{ MPa}$$

Ocel: B500B

$$\gamma_s=1,15$$

$$f_{yk}=500 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,783 \text{ MPa}$$

#### *Kotevní délka pro dále navrženou výztuž $\phi 8$ :*

Návrhová pevnost betonu v tahu:

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} \cdot f_{ctk,0,05}}{\gamma_c} = \frac{1 \cdot 2}{1,5} = 1,33 \text{ MPa}$$

Návrhová hodnota mezního napětí v soudržnosti:

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,33 = 3,0 \text{ MPa}$$

$$\text{Základní kotevní délka: } l_{bd,rqd} = \frac{\emptyset}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{bd}} = \frac{8}{4} \cdot \frac{434,783}{3,0} = 289,9 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{bd,rqd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 290 = 290 \text{ mm}$$

D8le je navržena kotevní délka 300 mm pro lepší spojování sítí s oky 100 a 150 mm.

Minimální kotevní délka:

$$l_{bd,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,3 \cdot l_{b,rqd} = 0,3 \cdot 289,9 = 87 \text{ mm} \\ 10 \cdot \emptyset = 10 \cdot 8 = 80 \text{ mm} \\ 100 \text{ mm} \end{array} \right\} = 100 \text{ mm}$$

### Směr x – dolní povrch

Z výpočtů v předchozí kapitole jsem stanovil reprezentativní hodnotu  $m_{x,rep}^+ = 27 \text{ kNm/m}$ . Pro pokrytí této hodnoty použiju kari síť 8x150x150.

Krytí výztuže dle [3]

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

Minimální krycí vrstva

$$c_{min} = \max\{c_{min,b}; c_{min,dur} + c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm}\}$$

$$c_{min} = \max\{8; 15; 10\} = 15 \text{ mm}$$

Minimální krycí vrstva

$$c_{min,b} = \emptyset = 8 \text{ mm}$$

Minimální krycí vrstva z hlediska podmínek prostředí dle tabulky 4.4 z [3]

$$c_{min,dur} = 15 \text{ mm}$$

Přídavná bezpečnostní složka

$$c_{dur,\gamma} = 0 \text{ mm}$$

Redukce minimální krycí vrstvy při použití nerezové oceli

$$\Delta c_{dur,st} = 0 \text{ mm}$$

Redukce minimální krycí vrstvy při použití přídavné ochrany

$$\Delta c_{dur,add} = 0 \text{ mm}$$

Přídavek na návrhovou odchylku



$$\Delta c_{\text{dev}} = 10 \text{ mm}$$

Krytí výztuže

$$c_{\text{nom}} = 15 + 10 = 25 \text{ mm}$$

$$d = h - c_{\text{nom}} - \frac{\varnothing_s}{2} = 0,25 - 0,025 - \frac{0,008}{2} = 0,221 \text{ m}$$

**Návrh:  $\phi 8/150$**

Plocha výztuže na 1 m

$$A_s = 3,37 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Maximální síla ve výztuži

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 3,37 \cdot 10^{-4} \cdot 434,783 \cdot 10^3 = 146,52 \text{ kN}$$

Výška tlačené oblasti

$$x = \frac{F_s}{b \cdot 0,8 \cdot f_{cd}} = \frac{146,52 \cdot 10^3}{1,0 \cdot 0,8 \cdot 20 \cdot 10^6} = 9,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Maximální síla ve výztuži

$$m_{x,Rd}^+ = F_s \cdot (d - 0,4 \cdot x) = 146,52 \cdot (0,221 - 0,4 \cdot 9,2 \cdot 10^{-3})$$

$$m_{x,Rd}^+ = 31,84 \text{ kNm/m} \geq m_{x,rep}^+ = 27,0 \text{ kNm/m} \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

Tuto hodnotu je porovnána s  $m_x^+$  v jednotlivých zónách a tím jsou zjištěna místa pro doplnění prutů. Porovnání je provedeno v tabulce 4. Červenou barvou jsou zvýrazněna místa, ve kterých je třeba doplnit výztuž.

Posudek v jednotlivých zónách:

Pole	Měrný ohybový moment	Posudek
1	42,73 kNm/m > 31,84 kNm/m	NEVYHOVUJE
2	37,39 kNm/m > 31,84 kNm/m	NEVYHOVUJE
3	33,49 kNm/m > 31,84 kNm/m	NEVYHOVUJE
4	29,26 kNm/m < 31,84 kNm/m	VYHOVUJE
5	30,76 kNm/m < 31,84 kNm/m	VYHOVUJE
6	28,98 kNm/m < 31,84 kNm/m	VYHOVUJE

7	9,17 kNm/m < 31,84 kNm/m	VYHOVUJE
8	16,66 kNm/m < 31,84 kNm/m	VYHOVUJE
9	54,99 kNm/m > 31,84 kNm/m	NEVYHOVUJE
10	1,91 kNm/m < 31,84 kNm/m	VYHOVUJE
11	27,12 kNm/m < 31,84 kNm/m	VYHOVUJE
12	42,12 kNm/m > 31,84 kNm/m	NEVYHOVUJE
13	22,33 kNm/m < 31,84 kNm/m	VYHOVUJE
14	52,00 kNm/m > 31,84 kNm/m	NEVYHOVUJE
15	26,89 kNm/m < 31,84 kNm/m	VYHOVUJE
16	38,98 kNm/m > 31,84 kNm/m	NEVYHOVUJE
17	9,43 kNm/m < 31,84 kNm/m	VYHOVUJE
18	10,16 kNm/m < 31,84 kNm/m	VYHOVUJE
19	10,40 kNm/m < 31,84 kNm/m	VYHOVUJE
20	52,34 kNm/m > 31,84 kNm/m	NEVYHOVUJE
21	32,70 kNm/m > 31,84 kNm/m	NEVYHOVUJE
22	36,56 kNm/m > 31,84 kNm/m	NEVYHOVUJE
23	10,33 kNm/m < 31,84 kNm/m	VYHOVUJE

Tabulka 4 – Porovnání únosnosti prutů kari sítě se skutečnými momenty

### Výpočet doplnění prutů u dolního okraje ve směru x:

#### Pole 1

Nepokrytý moment

$$m_{x,\text{nepokryté}}^+ = m_{x,s}^+ - m_{x,Rd}^+ = 42,73 - 31,84 = 10,89 \text{ kNm/m}$$

Potřebná plocha výztuže

$$A_{s,\text{reg}} = \frac{m_{x,\text{nepokryté}}^+}{0,9 \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{10,89 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 0,221 \cdot 434,783 \cdot 10^6} = 1,26 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Potřebná osová vzdálenost

$$s_{\text{max}} = \frac{\pi d^2}{A_{s,\text{reg}} \cdot 4} = \frac{\pi \cdot 0,008^2}{1,26 \cdot 10^{-4} \cdot 4} = 0,4 \text{ m} \rightarrow \text{volím min. } \phi 8 / 300$$

**Návrh: kari síť  $\phi 8/150 + \phi 8 /300$**

Plocha doplněných prutů

$$A_s = 3 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 3 \cdot \frac{\pi \cdot 8^2}{4} = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Plocha výztuže na 1 m

$$A_s = 3,37 \cdot 10^{-4} + 1,5 \cdot 10^{-4} = 4,88 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Maximální síla ve výztuži

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 4,88 \cdot 10^{-4} \cdot 434,783 \cdot 10^3 = 212,2 \text{ kN}$$

Výška tlačené oblasti

$$x = \frac{F_s}{b \cdot 0,8 \cdot f_{cd}} = \frac{212,2 \cdot 10^3}{1,0 \cdot 0,8 \cdot 20 \cdot 10^6} = 13,3 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Maximální síla ve výztuži

$$m_{x,Rd}^+ = F_s \cdot (d - 0,4 \cdot x) = 212,2 \cdot (0,221 - 0,4 \cdot 13,3 \cdot 10^{-3})$$

$$m_{x,Rd}^+ = 45,77 \text{ kNm/m} \geq m_{xs}^+ = 42,73 \text{ kNm/m} \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

## Pole 2

Nepokrytý moment

$$m_{x,nepokryté}^+ = m_{x,s}^+ - m_{x,Rd}^+ = 37,39 - 31,84 = 5,51 \text{ kNm/m}$$

Potřebná plocha výztuže

$$A_{s,reg} = \frac{m_{x,nepokryté}^+}{0,9 \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{5,51 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 0,221 \cdot 434,783 \cdot 10^6} = 6,37 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

Potřebná osová vzdálenost

$$s_{max} = \frac{\pi d^2}{A_{s,reg} \cdot 4} = \frac{\pi \cdot 0,008^2}{6,37 \cdot 10^{-5} \cdot 4} = 0,49 \text{ m} \rightarrow \text{volím min. } \phi 8 / 300$$

**Návrh: kari síť  $\phi 8/150 + \phi 8 /300$**

Plocha doplněných prutů

$$A_s = 3 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 3 \cdot \frac{\pi \cdot 8^2}{4} = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Plocha výztuže na 1 m

$$A_s = 3,37 \cdot 10^{-4} + 1,5 \cdot 10^{-4} = 4,88 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Maximální síla ve výztuži

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 4,88 \cdot 10^{-4} \cdot 434,783 \cdot 10^3 = 212,2 \text{ kN}$$

Výška tlačené oblasti

$$x = \frac{F_s}{b \cdot 0,8 \cdot f_{cd}} = \frac{212,2 \cdot 10^3}{1,0 \cdot 0,8 \cdot 20 \cdot 10^6} = 13,3 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Maximální síla ve výztuži

$$m_{x,Rd}^+ = F_s \cdot (d - 0,4 \cdot x) = 212,2 \cdot (0,221 - 0,4 \cdot 13,3 \cdot 10^{-3})$$

$$m_{x,Rd}^+ = 45,77 \text{ kNm/m} \geq m_{xs}^+ = 37,39 \text{ kNm/m} \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

### Pole 3

Nepokrytý moment

$$m_{x,nepokryté}^+ = m_{x,stř}^+ - m_{x,Rd}^+ = 33,49 - 31,84 = 1,61 \text{ kNm/m}$$

Potřebná plocha výztuže

$$A_{s,reg} = \frac{m_{x,nepokryté}^+}{0,9 \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{1,61 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 0,221 \cdot 434,783 \cdot 10^6} = 1,86 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

Potřebná osová vzdálenost

$$s_{\max} = \frac{\pi d^2}{A_{s,reg} \cdot 4} = \frac{\pi \cdot 0,008^2}{1,86 \cdot 10^{-5} \cdot 4} = 2,7 \text{ m} \rightarrow \text{volím min. } \phi 8 / 300$$

**Návrh: kari síť  $\phi 8/150 + \phi 8/300$**

Plocha doplněných prutů

$$A_s = 3 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 3 \cdot \frac{\pi \cdot 8^2}{4} = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Plocha výztuže na 1 m

$$A_s = 3,37 \cdot 10^{-4} + 1,5 \cdot 10^{-4} = 4,88 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Maximální síla ve výztuži

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 4,88 \cdot 10^{-4} \cdot 434,783 \cdot 10^3 = 212,2 \text{ kN}$$

Výška tlačené oblasti

$$x = \frac{F_s}{b \cdot 0,8 \cdot f_{cd}} = \frac{212,2 \cdot 10^3}{1,0 \cdot 0,8 \cdot 20 \cdot 10^6} = 13,3 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Maximální síla ve výztuži

$$m_{x,Rd}^+ = F_s \cdot (d - 0,4 \cdot x) = 212,2 \cdot (0,221 - 0,4 \cdot 13,3 \cdot 10^{-3})$$

$$m_{x,Rd}^+ = 45,77 \text{ kNm/m} \geq m_{xs}^+ = 33,49 \text{ kNm/m} \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

## Pole 9

Nepokrytý moment

$$m_{x,nepokryté}^+ = m_{x,s}^+ - m_{x,Rd}^+ = 54,99 - 31,84 = 23,79 \text{ kNm/m}$$

Potřebná plocha výztuže

$$A_{s,reg} = \frac{m_{x,nepokryté}^+}{0,9 \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{23,79 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 0,221 \cdot 434,783 \cdot 10^6} = 2,85 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Potřebná osová vzdálenost

$$s_{max} = \frac{\pi d^2}{A_{s,reg} \cdot 4} = \frac{\pi \cdot 0,008^2}{2,85 \cdot 10^{-4} \cdot 4} = 0,176 \text{ m}$$

**Návrh: kari síť  $\phi 8/150 + \phi 8/150$**

Plocha doplněných prutů

$$A_s = 6 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 6 \cdot \frac{\pi \cdot 8^2}{4} = 3,02 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Plocha výztuže na 1 m

$$A_s = 3,37 \cdot 10^{-4} + 3,02 \cdot 10^{-4} = 6,39 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Maximální síla ve výztuži

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 6,39 \cdot 10^{-4} \cdot 434,783 \cdot 10^3 = 277,65 \text{ kN}$$

Výška tlačené oblasti

$$x = \frac{F_s}{b \cdot 0,8 \cdot f_{cd}} = \frac{277,65 \cdot 10^3}{1,0 \cdot 0,8 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,017 \text{ m}$$

Maximální síla ve výztuži

$$m_{x,Rd}^+ = F_s \cdot (d - 0,4 \cdot x) = 277,65 \cdot (0,221 - 0,4 \cdot 0,017)$$

$$m_{x,Rd}^+ = 59,43 \text{ kNm/m} \geq m_{xs}^+ = 54,99 \text{ kNm/m} \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

## Pole 12

Nepokrytý moment

$$m_{x,nepokryté}^+ = m_{x,stř}^+ - m_{x,Rd}^+ = 42,12 - 31,84 = 10,24 \text{ kNm/m}$$

Potřebná plocha výztuže

$$A_{s,reg} = \frac{m_{x,nepokryté}^+}{0,9 \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{10,24 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 0,221 \cdot 434,783 \cdot 10^6} = 1,18 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Potřebná osová vzdálenost

$$s_{max} = \frac{\pi d^2}{A_{s,reg} \cdot 4} = \frac{\pi \cdot 0,008^2}{1,18 \cdot 10^{-4} \cdot 4} = 0,426 \text{ m} \rightarrow \text{volím min. } \phi 8 / 300$$

**Návrh: kari sít'  $\phi 8/150 + \phi 8/300$**

Plocha doplněných prutů

$$A_s = 3 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 3 \cdot \frac{\pi \cdot 8^2}{4} = 1,51 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Plocha výztuže na 1 m

$$A_s = 3,37 \cdot 10^{-4} + 1,51 \cdot 10^{-4} = 4,88 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Maximální síla ve výztuži

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 4,88 \cdot 10^{-4} \cdot 434,783 \cdot 10^3 = 212,10 \text{ kN}$$

Výška tlačené oblasti

$$x = \frac{F_s}{b \cdot 0,8 \cdot f_{cd}} = \frac{212,10 \cdot 10^3}{1,0 \cdot 0,8 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,013 \text{ m}$$

Maximální síla ve výztuži

$$m_{x,Rd}^+ = F_s \cdot (d - 0,4 \cdot x) = 212,10 \cdot (0,221 - 0,4 \cdot 0,013)$$

$$m_{x,Rd}^+ = 45,75 \text{ kNm/m} \geq m_{x,stř}^+ = 42,12 \text{ kNm/m} \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

#### Pole 14

Nepokrytý moment

$$m_{x,nepokryté}^+ = m_{x,s}^+ - m_{x,Rd}^+ = 52,00 - 31,84 = 20,16 \text{ kNm/m}$$

Potřebná plocha výztuže

$$A_{s,reg} = \frac{m_{x,nepokryté}^+}{0,9 \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{20,16 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 0,221 \cdot 434,783 \cdot 10^6} = 2,42 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Potřebná osová vzdálenost

$$s_{max} = \frac{\pi d^2}{A_{s,reg} \cdot 4} = \frac{\pi \cdot 0,008^2}{2,42 \cdot 10^{-4} \cdot 4} = 0,207 \text{ m}$$

**Návrh: kari sít'  $\phi 8/150 + \phi 8/200$**

Plocha doplněných prutů

$$A_s = 5 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 5 \cdot \frac{\pi \cdot 8^2}{4} = 2,51 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Plocha výztuže na 1 m

$$A_s = 3,37 \cdot 10^{-4} + 2,51 \cdot 10^{-4} = 5,88 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Maximální síla ve výztuži

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 5,88 \cdot 10^{-4} \cdot 434,783 \cdot 10^3 = 255,79 \text{ kN}$$

Výška tlačené oblasti

$$x = \frac{F_s}{b \cdot 0,8 \cdot f_{cd}} = \frac{255,79 \cdot 10^3}{1,0 \cdot 0,8 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,016 \text{ m}$$

Maximální síla ve výztuži

$$m_{x,Rd}^+ = F_s \cdot (d - 0,4 \cdot x) = 255,79 \cdot (0,221 - 0,4 \cdot 0,016)$$

$$m_{x,Rd}^+ = 54,89 \text{ kNm/m} \geq m_{xs}^+ = 52,00 \text{ kNm/m} \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

## Pole 16

Nepokrytý moment

$$m_{x,nepokryté}^+ = m_{x,stř}^+ - m_{x,Rd}^+ = 38,98 - 31,84 = 7,10 \text{ kNm/m}$$

Potřebná plocha výztuže

$$A_{s,reg} = \frac{m_{x,nepokryté}^+}{0,9 \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{7,10 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 0,221 \cdot 434,783 \cdot 10^6} = 8,21 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

Potřebná osová vzdálenost

$$s_{max} = \frac{\pi d^2}{A_{s,reg} \cdot 4} = \frac{\pi \cdot 0,008^2}{8,21 \cdot 10^{-5} \cdot 4} = 0,612 \text{ m} \rightarrow \text{volím min. } \phi 8 / 300$$

**Návrh: kari síť  $\phi 8/150 + \phi 8/300$**

Plocha doplněných prutů

$$A_s = 3 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 3 \cdot \frac{\pi \cdot 8^2}{4} = 1,51 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Plocha výztuže na 1 m

$$A_s = 3,37 \cdot 10^{-4} + 1,51 \cdot 10^{-4} = 4,88 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Maximální síla ve výztuži

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 4,88 \cdot 10^{-4} \cdot 434,783 \cdot 10^3 = 212,10 \text{ kN}$$

Výška tlačené oblasti

$$x = \frac{F_s}{b \cdot 0,8 \cdot f_{cd}} = \frac{212,10 \cdot 10^3}{1,0 \cdot 0,8 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,013 \text{ m}$$

Maximální síla ve výztuži

$$m_{x,Rd}^+ = F_s \cdot (d - 0,4 \cdot x) = 212,10 \cdot (0,221 - 0,4 \cdot 0,013)$$



$$m_{x,Rd}^+ = 45,75 \text{ kNm/m} \geq m_{x,stř}^+ = 38,98 \text{ kNm/m} \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

**Pole 20**

Nepokrytý moment

$$m_{x,nepokryté}^+ = m_{x,s}^+ - m_{x,Rd}^+ = 52,34 - 31,84 = 20,50 \text{ kNm/m}$$

Potřebná plocha výztuže

$$A_{s,reg} = \frac{m_{x,nepokryté}^+}{0,9 \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{20,50 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 0,221 \cdot 434,783 \cdot 10^6} = 2,46 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Potřebná osová vzdálenost

$$s_{max} = \frac{\pi d^2}{A_{s,reg} \cdot 4} = \frac{\pi \cdot 0,008^2}{2,46 \cdot 10^{-4} \cdot 4} = 0,204 \text{ m}$$

**Návrh: kari sít'  $\phi 8/150 + \phi 8/200$**

Plocha doplněných prutů

$$A_s = 5 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 5 \cdot \frac{\pi \cdot 8^2}{4} = 2,51 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Plocha výztuže na 1 m

$$A_s = 3,37 \cdot 10^{-4} + 2,51 \cdot 10^{-4} = 5,88 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Maximální síla ve výztuži

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 5,88 \cdot 10^{-4} \cdot 434,783 \cdot 10^3 = 255,79 \text{ kN}$$

Výška tlačené oblasti

$$x = \frac{F_s}{b \cdot 0,8 \cdot f_{cd}} = \frac{255,79 \cdot 10^3}{1,0 \cdot 0,8 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,016 \text{ m}$$

Maximální síla ve výztuži

$$m_{x,Rd}^+ = F_s \cdot (d - 0,4 \cdot x) = 255,79 \cdot (0,221 - 0,4 \cdot 0,016)$$

$$m_{x,Rd}^+ = 54,89 \text{ kNm/m} \geq m_{x,s}^+ = 52,34 \text{ kNm/m} \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

**Pole 21**

Nepokrytý moment

$$m_{x,nepokryté}^+ = m_{x,s}^+ - m_{x,Rd}^+ = 32,70 - 31,84 = 0,82 \text{ kNm/m}$$

Potřebná plocha výztuže

$$A_{s,reg} = \frac{m_{x,nepokryté}^+}{0,9 \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{0,82 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 0,221 \cdot 434,783 \cdot 10^6} = 9,48 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

Potřebná osová vzdálenost

$$s_{max} = \frac{\pi d^2}{A_{s,reg} \cdot 4} = \frac{\pi \cdot 0,008^2}{9,48 \cdot 10^{-6} \cdot 4} = 5,302 \text{ m} \rightarrow \text{volím min. } \phi 8 / 300$$

**Návrh: kari síť  $\phi 8/150 + \phi 8/300$** 

Plocha doplněných prutů

$$A_s = 3 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 3 \cdot \frac{\pi \cdot 8^2}{4} = 1,51 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Plocha výztuže na 1 m

$$A_s = 3,37 \cdot 10^{-4} + 1,51 \cdot 10^{-4} = 4,88 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Maximální síla ve výztuži

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 4,88 \cdot 10^{-4} \cdot 434,783 \cdot 10^3 = 212,10 \text{ kN}$$

Výška tlačené oblasti

$$x = \frac{F_s}{b \cdot 0,8 \cdot f_{cd}} = \frac{212,10 \cdot 10^3}{1,0 \cdot 0,8 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,013 \text{ m}$$

Maximální síla ve výztuži

$$m_{x,Rd}^+ = F_s \cdot (d - 0,4 \cdot x) = 212,10 \cdot (0,221 - 0,4 \cdot 0,013)$$

$$m_{x,Rd}^+ = 45,75 \text{ kNm/m} \geq m_{x,stř}^+ = 32,70 \text{ kNm/m} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

**Pole 22**

Nepokrytý moment

$$m_{x,\text{nepokryté}}^+ = m_{x,s}^+ - m_{x,\text{Rd}}^+ = 36,56 - 31,84 = 4,68 \text{ kNm/m}$$

Potřebná plocha výztuže

$$A_{s,\text{reg}} = \frac{m_{x,\text{nepokryté}}^+}{0,9 \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{4,68 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 0,221 \cdot 434,783 \cdot 10^6} = 5,41 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

Potřebná osová vzdálenost

$$s_{\text{max}} = \frac{\pi d^2}{A_{s,\text{reg}} \cdot 4} = \frac{\pi \cdot 0,008^2}{5,41 \cdot 10^{-5} \cdot 4} = 0,929 \text{ m} \rightarrow \text{volím min. } \phi 8 / 300$$

**Návrh: kari síť  $\phi 8/150 + \phi 8/300$**

Plocha doplněných prutů

$$A_s = 3 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 3 \cdot \frac{\pi \cdot 8^2}{4} = 1,51 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Plocha výztuže na 1 m

$$A_s = 3,37 \cdot 10^{-4} + 1,51 \cdot 10^{-4} = 4,88 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Maximální síla ve výztuži

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 4,88 \cdot 10^{-4} \cdot 434,783 \cdot 10^3 = 212,10 \text{ kN}$$

Výška tlačené oblasti

$$x = \frac{F_s}{b \cdot 0,8 \cdot f_{cd}} = \frac{212,10 \cdot 10^3}{1,0 \cdot 0,8 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,013 \text{ m}$$

Maximální síla ve výztuži

$$m_{x,\text{Rd}}^+ = F_s \cdot (d - 0,4 \cdot x) = 212,10 \cdot (0,221 - 0,4 \cdot 0,013)$$

$$m_{x,\text{Rd}}^+ = 45,75 \text{ kNm/m} \geq m_{x,\text{stř}}^+ = 36,56 \text{ kNm/m} \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

### Směr y – dolní povrch

Z výpočtů v předchozí kapitole jsem stanovil reprezentativní hodnotu  $m_{y,\text{rep}}^+ = 30 \text{ kNm/m}$ . Pro pokrytí této hodnoty použiju kari síť 8x150x150. Výztuž pro směr y bude výše než výztuž pro směr x.

$$d = h - c_{\text{nom}} - \phi_{sx} - \frac{\phi_s}{2} = 0,25 - 0,025 - 0,008 - \frac{0,008}{2} = 0,213 \text{ m}$$

**Návrh:  $\phi 8/150$**

Plocha výztuže na 1 m

$$A_s = 3,37 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Maximální síla ve výztuži

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 3,37 \cdot 10^{-4} \cdot 434,783 \cdot 10^3 = 146,52 \text{ kN}$$

Výška tlačené oblasti

$$x = \frac{F_s}{b \cdot 0,8 \cdot f_{cd}} = \frac{146,52 \cdot 10^3}{1,0 \cdot 0,8 \cdot 20 \cdot 10^6} = 9,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Maximální síla ve výztuži

$$m_{y,Rd}^+ = F_s \cdot (d - 0,4 \cdot x) = 146,52 \cdot (0,213 - 0,4 \cdot 9,2 \cdot 10^{-3})$$

$$m_{y,Rd}^+ = 31,2 \text{ kNm/m} \geq m_{x,rep}^+ = 30,0 \text{ kNm/m} \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

Tuto hodnotu porovnáme s  $m_y^+$  v jednotlivých zónách a tím zjistíme místa pro doplnění prutů. Porovnání je provedeno v tabulce 5. Červenou barvou jsou zvýrazněna místa, ve kterých je třeba doplnit výztuž.

Posudek v jednotlivých zónách:

Pole	Měrný ohybový moment	Posudek
1	28,18 kNm/m < 31,20 kNm/m	VYHOVUJE
2	16,72 kNm/m < 31,20 kNm/m	VYHOVUJE
3	25,57 kNm/m < 31,20 kNm/m	VYHOVUJE
4	15,29 kNm/m < 31,20 kNm/m	VYHOVUJE
5	26,56 kNm/m < 31,20 kNm/m	VYHOVUJE
6	14,30 kNm/m < 31,20 kNm/m	VYHOVUJE
7	11,47 kNm/m < 31,20 kNm/m	VYHOVUJE
8	11,89 kNm/m < 31,20 kNm/m	VYHOVUJE
9	10,87 kNm/m < 31,20 kNm/m	VYHOVUJE
10	14,52 kNm/m < 31,20 kNm/m	VYHOVUJE
11	47,51 kNm/m > 31,20 kNm/m	NEVYHOVUJE

12	28,65 kNm/m < 31,20 kNm/m	VYHOVUJE
13	28,18 kNm/m < 31,20 kNm/m	VYHOVUJE
14	5,43 kNm/m < 31,20 kNm/m	VYHOVUJE
15	8,12 kNm/m < 31,20 kNm/m	VYHOVUJE
16	27,72 kNm/m < 31,20 kNm/m	VYHOVUJE
17	48,16 kNm/m > 31,20 kNm/m	NEVYHOVUJE
18	31,16 kNm/m < 31,20 kNm/m	VYHOVUJE
19	40,43 kNm/m > 31,20 kNm/m	NEVYHOVUJE
20	30,33 kNm/m < 31,20 kNm/m	VYHOVUJE
21	36,73 kNm/m > 31,20 kNm/m	NEVYHOVUJE
22	34,17 kNm/m > 31,20 kNm/m	NEVYHOVUJE
23	40,94 kNm/m > 31,20 kNm/m	NEVYHOVUJE

Tabulka 5 - Porovnání únosnosti prutů kari sítě se skutečnými momenty

### Výpočet doplnění prutů u dolního povrchu ve směru y:

#### Pole 11

Nepokrytý moment

$$m_{y,nepokryté}^+ = m_{y,s}^+ - m_{y,Rd}^+ = 47,51 - 31,84 = 16,31 \text{ kNm/m}$$

Potřebná plocha výztuže

$$A_{s,reg} = \frac{m_{y,nepokryté}^+}{0,9 \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{16,31 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 0,213 \cdot 434,783 \cdot 10^6} = 1,96 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Potřebná osová vzdálenost

$$s_{max} = \frac{\pi d^2}{A_{s,reg} \cdot 4} = \frac{\pi \cdot 0,008^2}{1,96 \cdot 10^{-4} \cdot 4} = 0,257 \text{ m}$$

**Návrh: kari sítě  $\phi 8/150 + \phi 8/250$**

Plocha doplněných prutů

$$A_s = 4 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 4 \cdot \frac{\pi \cdot 8^2}{4} = 2,01 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Plocha výztuže na 1 m

$$A_s = 3,37 \cdot 10^{-4} + 2,01 \cdot 10^{-4} = 5,38 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Maximální síla ve výztuži

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 5,38 \cdot 10^{-4} \cdot 434,783 \cdot 10^3 = 233,94 \text{ kN}$$

Výška tlačené oblasti

$$x = \frac{F_s}{b \cdot 0,8 \cdot f_{cd}} = \frac{233,94 \cdot 10^3}{1,0 \cdot 0,8 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,015 \text{ m}$$

Maximální síla ve výztuži

$$m_{y,Rd}^+ = F_s \cdot (d - 0,4 \cdot x) = 233,94 \cdot (0,213 - 0,4 \cdot 0,015)$$

$$m_{y,Rd}^+ = 48,46 \text{ kNm/m} \geq m_{ys}^+ = 47,51 \text{ kNm/m} \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

## Pole 17

Nepokrytý moment

$$m_{y,nepokryté}^+ = m_{y,s}^+ - m_{y,Rd}^+ = 48,16 - 31,84 = 16,96 \text{ kNm/m}$$

Potřebná plocha výztuže

$$A_{s,reg} = \frac{m_{y,nepokryté}^+}{0,9 \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{16,96 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 0,213 \cdot 434,783 \cdot 10^6} = 2,03 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Potřebná osová vzdálenost

$$s_{max} = \frac{\pi d^2}{A_{s,reg} \cdot 4} = \frac{\pi \cdot 0,008^2}{2,03 \cdot 10^{-4} \cdot 4} = 0,248 \text{ m}$$

**Návrh: kari síť  $\phi 8/150 + \phi 8/200$**

Plocha doplněných prutů

$$A_s = 5 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 5 \cdot \frac{\pi \cdot 8^2}{4} = 2,51 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Plocha výztuže na 1 m

$$A_s = 3,37 \cdot 10^{-4} + 2,51 \cdot 10^{-4} = 5,88 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Maximální síla ve výztuži

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 5,88 \cdot 10^{-4} \cdot 434,783 \cdot 10^3 = 255,79 \text{ kN}$$

Výška tlačené oblasti

$$x = \frac{F_s}{b \cdot 0,8 \cdot f_{cd}} = \frac{255,79 \cdot 10^3}{1,0 \cdot 0,8 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,016 \text{ m}$$

Maximální síla ve výztuži

$$m_{y,Rd}^+ = F_s \cdot (d - 0,4 \cdot x) = 255,79 \cdot (0,213 - 0,4 \cdot 0,016)$$

$$m_{y,Rd}^+ = 52,85 \text{ kNm/m} \geq m_{ys}^+ = 48,16 \text{ kNm/m} \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

## Pole 19

Nepokrytý moment

$$m_{y,nepokryté}^+ = m_{y,s}^+ - m_{y,Rd}^+ = 40,43 - 31,84 = 9,23 \text{ kNm/m}$$

Potřebná plocha výztuže

$$A_{s,reg} = \frac{m_{y,nepokryté}^+}{0,9 \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{9,23 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 0,213 \cdot 434,783 \cdot 10^6} = 1,11 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Potřebná osová vzdálenost

$$s_{max} = \frac{\pi d^2}{A_{s,reg} \cdot 4} = \frac{\pi \cdot 0,008^2}{1,11 \cdot 10^{-4} \cdot 4} = 0,453 \text{ m} \rightarrow \text{volím min. } \phi 8 / 300$$

**Návrh: kari sít'  $\phi 8/150 + \phi 8/300$**

Plocha doplněných prutů

$$A_s = 3 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 3 \cdot \frac{\pi \cdot 8^2}{4} = 1,51 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Plocha výztuže na 1 m

$$A_s = 3,37 \cdot 10^{-4} + 1,51 \cdot 10^{-4} = 4,88 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Maximální síla ve výztuži

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 4,88 \cdot 10^{-4} \cdot 434,783 \cdot 10^3 = 212,09 \text{ kN}$$

Výška tlačené oblasti

$$x = \frac{F_s}{b \cdot 0,8 \cdot f_{cd}} = \frac{212,09 \cdot 10^3}{1,0 \cdot 0,8 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,013 \text{ m}$$

Maximální síla ve výztuži

$$m_{y,Rd}^+ = F_s \cdot (d - 0,4 \cdot x) = 212,09 \cdot (0,213 - 0,4 \cdot 0,013)$$

$$m_{y,Rd}^+ = 44,05 \text{ kNm/m} \geq m_{ys}^+ = 40,43 \text{ kNm/m} \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

## Pole 21

Nepokrytý moment

$$m_{y,nepokryté}^+ = m_{y,s}^+ - m_{y,Rd}^+ = 36,73 - 31,84 = 5,53 \text{ kNm/m}$$

Potřebná plocha výztuže

$$A_{s,reg} = \frac{m_{y,nepokryté}^+}{0,9 \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{5,53 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 0,213 \cdot 434,783 \cdot 10^6} = 6,63 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

Potřebná osová vzdálenost

$$s_{max} = \frac{\pi d^2}{A_{s,reg} \cdot 4} = \frac{\pi \cdot 0,008^2}{6,63 \cdot 10^{-5} \cdot 4} = 0,758 \text{ m} \rightarrow \text{volím min. } \phi 8 / 300$$

**Návrh: kari síť  $\phi 8/150 + \phi 8/300$**

Plocha doplněných prutů

$$A_s = 3 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 3 \cdot \frac{\pi \cdot 8^2}{4} = 1,51 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Plocha výztuže na 1 m

$$A_s = 3,37 \cdot 10^{-4} + 1,51 \cdot 10^{-4} = 4,88 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Maximální síla ve výztuži

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 4,88 \cdot 10^{-4} \cdot 434,783 \cdot 10^3 = 212,09 \text{ kN}$$

Výška tlačené oblasti

$$x = \frac{F_s}{b \cdot 0,8 \cdot f_{cd}} = \frac{212,09 \cdot 10^3}{1,0 \cdot 0,8 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,013 \text{ m}$$



Maximální síla ve výztuži

$$m_{y,Rd}^+ = F_s \cdot (d - 0,4 \cdot x) = 212,09 \cdot (0,213 - 0,4 \cdot 0,013)$$

$$m_{y,Rd}^+ = 44,05 \text{ kNm/m} \geq m_{ys}^+ = 36,73 \text{ kNm/m} \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

## Pole 22

Nepokrytý moment

$$m_{y,nepokryté}^+ = m_{y,stř}^+ - m_{y,Rd}^+ = 34,17 - 31,84 = 2,97 \text{ kNm/m}$$

Potřebná plocha výztuže

$$A_{s,reg} = \frac{m_{y,nepokryté}^+}{0,9 \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{2,97 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 0,213 \cdot 434,783 \cdot 10^6} = 3,56 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

Potřebná osová vzdálenost

$$s_{max} = \frac{\pi d^2}{A_{s,reg} \cdot 4} = \frac{\pi \cdot 0,008^2}{3,56 \cdot 10^{-5} \cdot 4} = 1,412 \text{ m} \rightarrow \text{volím min. } \phi 8 / 300$$

**Návrh: kari síť  $\phi 8/150 + \phi 8/300$**

Plocha doplněných prutů

$$A_s = 3 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 3 \cdot \frac{\pi \cdot 8^2}{4} = 1,51 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Plocha výztuže na 1 m

$$A_s = 3,37 \cdot 10^{-4} + 1,51 \cdot 10^{-4} = 4,88 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Maximální síla ve výztuži

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 4,88 \cdot 10^{-4} \cdot 434,783 \cdot 10^3 = 212,09 \text{ kN}$$

Výška tlačené oblasti

$$x = \frac{F_s}{b \cdot 0,8 \cdot f_{cd}} = \frac{212,09 \cdot 10^3}{1,0 \cdot 0,8 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,013 \text{ m}$$

Maximální síla ve výztuži

$$m_{y,Rd}^+ = F_s \cdot (d - 0,4 \cdot x) = 212,09 \cdot (0,213 - 0,4 \cdot 0,013)$$

$$m_{y,Rd}^+ = 44,05 \text{ kNm/m} \geq m_{ys}^+ = 34,17 \text{ kNm/m} \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

**Pole 23**

Nepokrytý moment

$$m_{y,nepokryté}^+ = m_{y,s}^+ - m_{y,Rd}^+ = 40,94 - 31,84 = 9,74 \text{ kNm/m}$$

Potřebná plocha výztuže

$$A_{s,reg} = \frac{m_{y,nepokryté}^+}{0,9 \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{9,74 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 0,213 \cdot 434,783 \cdot 10^6} = 1,17 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Potřebná osová vzdálenost

$$s_{max} = \frac{\pi d^2}{A_{s,reg} \cdot 4} = \frac{\pi \cdot 0,008^2}{1,17 \cdot 10^{-4} \cdot 4} = 0,430 \text{ m} \rightarrow \text{volím min. } \phi 8 / 300$$

**Návrh: kari síť 4 $\phi$ 8/150 +  $\phi$ 8/300**

Plocha doplněných prutů

$$A_s = 3 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 3 \cdot \frac{\pi \cdot 8^2}{4} = 1,51 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Plocha výztuže na 1 m

$$A_s = 3,37 \cdot 10^{-4} + 1,51 \cdot 10^{-4} = 4,88 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Maximální síla ve výztuži

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 4,88 \cdot 10^{-4} \cdot 434,783 \cdot 10^3 = 212,09 \text{ kN}$$

Výška tlačené oblasti

$$x = \frac{F_s}{b \cdot 0,8 \cdot f_{cd}} = \frac{212,09 \cdot 10^3}{1,0 \cdot 0,8 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,013 \text{ m}$$

Maximální síla ve výztuži

$$m_{y,Rd}^+ = F_s \cdot (d - 0,4 \cdot x) = 212,09 \cdot (0,213 - 0,4 \cdot 0,013)$$

$$m_{y,Rd}^+ = 44,05 \text{ kNm/m} \geq m_{ys}^+ = 40,94 \text{ kNm/m} \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

### Směr x – horní povrch

Z výpočtů v předchozí kapitole byla stanovena reprezentativní hodnota  $m_{x,rep}^- = 37 \text{ kNm/m}$ . Pro pokrytí této hodnoty bude použita kari síť 8x100x100. Výztuž ve směru x bude umístěna pod výztuž přenášející  $m_y^-$ , blíže ke středu průřezu.

Krytí výztuže

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

$$c_{nom} = 15 + 10 = 25 \text{ mm}$$

$$d = h - c_{nom} - \frac{\phi_s}{2} = 0,25 - 0,025 - 0,008 - \frac{0,008}{2} = 0,213 \text{ m}$$

### Návrh: $\phi 8/100$

Plocha výztuže na 1 m

$$A_s = 5,03 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Maximální síla ve výztuži

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 5,03 \cdot 10^{-4} \cdot 434,783 \cdot 10^3 = 218,55 \text{ kN}$$

Výška tlačené oblasti

$$x = \frac{F_s}{b \cdot 0,8 \cdot f_{cd}} = \frac{218,55 \cdot 10^3}{1,0 \cdot 0,8 \cdot 20 \cdot 10^6} = 13,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Maximální síla ve výztuži

$$m_{x,Rd}^- = F_s \cdot (d - 0,4 \cdot x) = 218,55 \cdot (0,213 - 0,4 \cdot 13,6 \cdot 10^{-3})$$

$$m_{x,Rd}^- = 45,36 \text{ kNm/m} \geq m_{x,rep}^- = 37,0 \text{ kNm/m} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Tato hodnota je porovnána s  $m_x^-$  v jednotlivých zónách a tím jsou zjištěna místa pro doplnění prutů. Porovnání je provedeno v tabulce 6. Červenou barvou jsou zvýrazněna místa, ve kterých je třeba doplnit výztuž.

1	18,05 kNm/m < 45,36 kNm/m	VYHOVUJE
2	73,26 kNm/m > 45,36 kNm/m	NEVYHOVUJE
3	13,14 kNm/m < 45,36 kNm/m	VYHOVUJE
4	0,05 kNm/m < 45,36 kNm/m	VYHOVUJE

5	26,40 kNm/m < 45,36 kNm/m	VYHOVUJE
6	-	VYHOVUJE
7	32,84 kNm/m < 45,36 kNm/m	VYHOVUJE
8	73,58 kNm/m > 45,36 kNm/m	NEVYHOVUJE
9	27,90 kNm/m < 45,36 kNm/m	VYHOVUJE
10	-	VYHOVUJE
11	4,12 kNm/m < 45,36 kNm/m	VYHOVUJE
12	0,01 kNm/m < 45,36 kNm/m	VYHOVUJE
13	29,29 kNm/m < 45,36 kNm/m	VYHOVUJE
14	64,95 kNm/m > 45,36 kNm/m	NEVYHOVUJE
15	34,15 kNm/m < 45,36 kNm/m	VYHOVUJE
16	61,22 kNm/m > 45,36 kNm/m	NEVYHOVUJE
17	43,80 kNm/m < 45,36 kNm/m	VYHOVUJE
18	-	VYHOVUJE
19	4,87 kNm/m < 45,36 kNm/m	VYHOVUJE
20	5,88 kNm/m < 45,36 kNm/m	VYHOVUJE
21	30,63 kNm/m < 45,36 kNm/m	VYHOVUJE
22	86,21 kNm/m > 45,36 kNm/m	NEVYHOVUJE
23	84,98 kNm/m > 45,36 kNm/m	NEVYHOVUJE
24	-	VYHOVUJE
25	9,99 kNm/m < 45,36 kNm/m	VYHOVUJE
26	1,29 kNm/m < 45,36 kNm/m	VYHOVUJE
27	12,44 kNm/m < 45,36 kNm/m	VYHOVUJE
28	28,35 kNm/m < 45,36 kNm/m	VYHOVUJE
29	83,30 kNm/m > 45,36 kNm/m	NEVYHOVUJE
30	69,91 kNm/m > 45,36 kNm/m	NEVYHOVUJE
31	54,28 kNm/m > 45,36 kNm/m	NEVYHOVUJE
32	58,62 kNm/m > 45,36 kNm/m	NEVYHOVUJE

Tabulka 6 - Porovnání únosnosti prutů kari sítě se skutečnými momenty

## Výpočet doplnění prutů u horního povrchu ve směru x

### Pole 2

Nepokrytý moment

$$m_{x,\text{nepokryté}} = m_{x,s} - m_{x,Rd} = 73,26 - 45,36 = 27,9 \text{ kNm/m}$$

Potřebná plocha výztuže

$$A_{s,\text{reg}} = \frac{m_{x,\text{nepokryté}}}{0,9 \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{27,9 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 0,213 \cdot 434,783 \cdot 10^6} = 3,35 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Potřebná osová vzdálenost

$$s_{\text{max}} = \frac{\pi d^2}{A_{s,\text{reg}} \cdot 4} = \frac{\pi \cdot 0,008^2}{3,35 \cdot 10^{-4} \cdot 4} = 0,151 \text{ m}$$

**Návrh: kari síť  $\phi 8/100 + \phi 8/150$**

Plocha doplněných prutů

$$A_s = 7 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 7 \cdot \frac{\pi \cdot 8^2}{4} = 3,52 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Plocha výztuže na 1 m

$$A_s = 5,03 \cdot 10^{-4} + 3,52 \cdot 10^{-4} = 8,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Maximální síla ve výztuži

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 8,55 \cdot 10^{-4} \cdot 434,783 \cdot 10^3 = 371,7 \text{ kN}$$

Výška tlačené oblasti

$$x = \frac{F_s}{b \cdot 0,8 \cdot f_{cd}} = \frac{371,7 \cdot 10^3}{1,0 \cdot 0,8 \cdot 20 \cdot 10^6} = 23,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Maximální síla ve výztuži

$$m_{x,Rd} = F_s \cdot (d - 0,4 \cdot x) = 371,7 \cdot (0,213 - 0,4 \cdot 23,2 \cdot 10^{-3})$$

$$m_{x,Rd} = 75,71 \text{ kNm/m} \geq m_{xs}^+ = 73,26 \text{ kNm/m} \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

**Pole 8**

Nepokrytý moment

$$m_{x,nepokryté}^{-} = m_{x,s}^{-} - m_{x,Rd}^{-} = 73,58 - 45,36 = 28,22 \text{ kNm/m}$$

Potřebná plocha výztuže

$$A_{s,reg} = \frac{m_{x,nepokryté}^{-}}{0,9 \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{28,22 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 0,213 \cdot 434,783 \cdot 10^6} = 3,39 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Potřebná osová vzdálenost

$$s_{max} = \frac{\pi d^2}{A_{s,reg} \cdot 4} = \frac{\pi \cdot 0,008^2}{3,39 \cdot 10^{-4} \cdot 4} = 0,148 \text{ m}$$

**Návrh: kari síť  $\phi 8/100 + \phi 8/140$** 

Plocha doplněných prutů

$$A_s = 7 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 7 \cdot \frac{\pi \cdot 8^2}{4} = 3,52 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Plocha výztuže na 1 m

$$A_s = 5,03 \cdot 10^{-4} + 3,52 \cdot 10^{-4} = 8,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Maximální síla ve výztuži

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 8,55 \cdot 10^{-4} \cdot 434,783 \cdot 10^3 = 371,7 \text{ kN}$$

Výška tlačené oblasti

$$x = \frac{F_s}{b \cdot 0,8 \cdot f_{cd}} = \frac{371,7 \cdot 10^3}{1,0 \cdot 0,8 \cdot 20 \cdot 10^6} = 23,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Maximální síla ve výztuži

$$m_{x,Rd}^{-} = F_s \cdot (d - 0,4 \cdot x) = 371,7 \cdot (0,213 - 0,4 \cdot 23,2 \cdot 10^{-3})$$

$$m_{x,Rd}^{-} = 75,71 \text{ kNm/m} \geq m_{xs}^{+} = 73,58 \text{ kNm/m} \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

**Pole 14**

Nepokrytý moment

$$m_{x,nepokryté}^{-} = m_{x,s}^{-} - m_{x,Rd}^{-} = 64,95 - 45,36 = 19,59 \text{ kNm/m}$$

Potřebná plocha výztuže

$$A_{s,reg} = \frac{m_{x,nepokryté}^{-}}{0,9 \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{19,59 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 0,213 \cdot 434,783 \cdot 10^6} = 2,35 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Potřebná osová vzdálenost

$$s_{max} = \frac{\pi d^2}{A_{s,reg} \cdot 4} = \frac{\pi \cdot 0,008^2}{2,35 \cdot 10^{-4} \cdot 4} = 0,214 \text{ m}$$

**Návrh: kari síť  $\phi 8/100 + \phi 8/200$** 

Plocha doplněných prutů

$$A_s = 5 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 5 \cdot \frac{\pi \cdot 8^2}{4} = 2,51 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Plocha výztuže na 1 m

$$A_s = 5,03 \cdot 10^{-4} + 2,51 \cdot 10^{-4} = 7,54 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Maximální síla ve výztuži

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 7,54 \cdot 10^{-4} \cdot 434,783 \cdot 10^3 = 328,0 \text{ kN}$$

Výška tlačené oblasti

$$x = \frac{F_s}{b \cdot 0,8 \cdot f_{cd}} = \frac{328,0 \cdot 10^3}{1,0 \cdot 0,8 \cdot 20 \cdot 10^6} = 20,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Maximální síla ve výztuži

$$m_{x,Rd}^{-} = F_s \cdot (d - 0,4 \cdot x) = 328,0 \cdot (0,213 - 0,4 \cdot 20,5 \cdot 10^{-3})$$

$$m_{x,Rd}^{-} = 67,17 \text{ kNm/m} \geq m_{x,s}^{+} = 64,95 \text{ kNm/m} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

**Pole 16**

Nepokrytý moment

$$m_{x,nepokryté}^{-} = m_{x,s}^{-} - m_{x,Rd}^{-} = 61,22 - 45,36 = 15,86 \text{ kNm/m}$$

Potřebná plocha výztuže

$$A_{s,reg} = \frac{m_{x,nepokryté}^-}{0,9 \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{15,86 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 0,213 \cdot 434,783 \cdot 10^6} = 1,90 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Potřebná osová vzdálenost

$$s_{max} = \frac{\pi d^2}{A_{s,reg} \cdot 4} = \frac{\pi \cdot 0,008^2}{1,90 \cdot 10^{-4} \cdot 4} = 0,265 \text{ m}$$

**Návrh: kari síť  $\phi 8/100 + \phi 8/250$**

Plocha doplněných prutů

$$A_s = 4 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 4 \cdot \frac{\pi \cdot 8^2}{4} = 2,01 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Plocha výztuže na 1 m

$$A_s = 5,03 \cdot 10^{-4} + 2,01 \cdot 10^{-4} = 7,04 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Maximální síla ve výztuži

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 7,04 \cdot 10^{-4} \cdot 434,783 \cdot 10^3 = 306,1 \text{ kN}$$

Výška tlačené oblasti

$$x = \frac{F_s}{b \cdot 0,8 \cdot f_{cd}} = \frac{306,1 \cdot 10^3}{1,0 \cdot 0,8 \cdot 20 \cdot 10^6} = 19,1 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Maximální síla ve výztuži

$$m_{x,Rd}^- = F_s \cdot (d - 0,4 \cdot x) = 306,1 \cdot (0,213 - 0,4 \cdot 19,1 \cdot 10^{-3})$$

$$m_{x,Rd}^- = 62,86 \text{ kNm/m} \geq m_{xs}^+ = 61,22 \text{ kNm/m} \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

## Pole 22

Nepokrytý moment

$$m_{x,nepokryté}^- = m_{x,s}^- - m_{x,Rd}^- = 86,21 - 45,36 = 40,85 \text{ kNm/m}$$

Potřebná plocha výztuže

$$A_{s,reg} = \frac{m_{x,nepokryté}^-}{0,9 \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{40,85 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 0,213 \cdot 434,783 \cdot 10^6} = 4,90 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$



Potřebná osová vzdálenost

$$s_{\max} = \frac{\pi d^2}{A_{s,reg} \cdot 4} = \frac{\pi \cdot 0,008^2}{4,90 \cdot 10^{-4} \cdot 4} = 0,103 \text{ m}$$

**Návrh: kari síť  $\phi 8/100 + \phi 8/100$**

Plocha doplněných prutů

$$A_s = 10 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 10 \cdot \frac{\pi \cdot 8^2}{4} = 5,03 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Plocha výztuže na 1 m

$$A_s = 5,03 \cdot 10^{-4} + 5,03 \cdot 10^{-4} = 1,01 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

Maximální síla ve výztuži

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 1,01 \cdot 10^{-3} \cdot 434,783 \cdot 10^3 = 437,2 \text{ kN}$$

Výška tlačené oblasti

$$x = \frac{F_s}{b \cdot 0,8 \cdot f_{cd}} = \frac{437,2 \cdot 10^3}{1,0 \cdot 0,8 \cdot 20 \cdot 10^6} = 27,3 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Maximální síla ve výztuži

$$m_{x,Rd}^- = F_s \cdot (d - 0,4 \cdot x) = 437,2 \cdot (0,213 - 0,4 \cdot 27,3 \cdot 10^{-3})$$

$$m_{x,Rd}^- = 88,35 \text{ kNm/m} \geq m_{xs}^+ = 86,21 \text{ kNm/m} \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

### Pole 23

Nepokrytý moment

$$m_{x,nepokryté}^- = m_{x,s}^- - m_{x,Rd}^- = 84,98 - 45,36 = 39,62 \text{ kNm/m}$$

Potřebná plocha výztuže

$$A_{s,reg} = \frac{m_{x,nepokryté}^-}{0,9 \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{39,62 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 0,213 \cdot 434,783 \cdot 10^6} = 4,75 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Potřebná osová vzdálenost

$$s_{\max} = \frac{\pi d^2}{A_{s,reg} \cdot 4} = \frac{\pi \cdot 0,008^2}{4,75 \cdot 10^{-4} \cdot 4} = 0,105 \text{ m}$$

**Návrh: kari síť  $\phi 8/100 + \phi 8/100$** 

Plocha doplněných prutů

$$A_s = 10 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 10 \cdot \frac{\pi \cdot 8^2}{4} = 5,03 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Plocha výztuže na 1 m

$$A_s = 5,03 \cdot 10^{-4} + 5,03 \cdot 10^{-4} = 1,01 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

Maximální síla ve výztuži

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 1,01 \cdot 10^{-3} \cdot 434,783 \cdot 10^3 = 437,2 \text{ kN}$$

Výška tlačené oblasti

$$x = \frac{F_s}{b \cdot 0,8 \cdot f_{cd}} = \frac{437,2 \cdot 10^3}{1,0 \cdot 0,8 \cdot 20 \cdot 10^6} = 27,3 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Maximální síla ve výztuži

$$m_{x,Rd}^- = F_s \cdot (d - 0,4 \cdot x) = 437,2 \cdot (0,213 - 0,4 \cdot 27,3 \cdot 10^{-3})$$

$$m_{x,Rd}^- = 88,35 \text{ kNm/m} \geq m_{xs}^+ = 84,98 \text{ kNm/m} \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

**Pole 29**

Nepokrytý moment

$$m_{x,nepokryté}^- = m_{x,s}^- - m_{x,Rd}^- = 83,30 - 45,36 = 37,94 \text{ kNm/m}$$

Potřebná plocha výztuže

$$A_{s,reg} = \frac{m_{x,nepokryté}^-}{0,9 \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{37,94 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 0,213 \cdot 434,783 \cdot 10^6} = 4,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Potřebná osová vzdálenost

$$s_{max} = \frac{\pi d^2}{A_{s,reg} \cdot 4} = \frac{\pi \cdot 0,008^2}{4,55 \cdot 10^{-4} \cdot 4} = 0,110 \text{ m}$$

**Návrh: kari síť  $\phi 8/100 + \phi 8/100$** 

Plocha doplněných prutů

$$A_s = 10 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 10 \cdot \frac{\pi \cdot 8^2}{4} = 5,03 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Plocha výztuže na 1 m

$$A_s = 5,03 \cdot 10^{-4} + 5,03 \cdot 10^{-4} = 1,01 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

Maximální síla ve výztuži

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 1,01 \cdot 10^{-3} \cdot 434,783 \cdot 10^3 = 437,2 \text{ kN}$$

Výška tlačené oblasti

$$x = \frac{F_s}{b \cdot 0,8 \cdot f_{cd}} = \frac{437,2 \cdot 10^3}{1,0 \cdot 0,8 \cdot 20 \cdot 10^6} = 27,3 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Maximální síla ve výztuži

$$m_{x,Rd}^- = F_s \cdot (d - 0,4 \cdot x) = 437,2 \cdot (0,213 - 0,4 \cdot 27,3 \cdot 10^{-3})$$

$$m_{x,Rd}^- = 88,35 \text{ kNm/m} \geq m_{xs}^+ = 83,30 \text{ kNm/m} \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

### Pole 30

Nepokrytý moment

$$m_{x,nepokryté}^- = m_{x,s}^- - m_{x,Rd}^- = 69,91 - 45,36 = 24,55 \text{ kNm/m}$$

Potřebná plocha výztuže

$$A_{s,reg} = \frac{m_{x,nepokryté}^-}{0,9 \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{27,9 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 0,213 \cdot 434,783 \cdot 10^6} = 2,95 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Potřebná osová vzdálenost

$$s_{max} = \frac{\pi d^2}{A_{s,reg} \cdot 4} = \frac{\pi \cdot 0,008^2}{2,95 \cdot 10^{-4} \cdot 4} = 0,170 \text{ m}$$

**Návrh: kari síť  $\phi 8/100 + \phi 8/165$**

Plocha doplněných prutů

$$A_s = 6 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 6 \cdot \frac{\pi \cdot 8^2}{4} = 3,02 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Plocha výztuže na 1 m

$$A_s = 5,03 \cdot 10^{-4} + 3,02 \cdot 10^{-4} = 8,05 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Maximální síla ve výztuži

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 8,05 \cdot 10^{-4} \cdot 434,783 \cdot 10^3 = 349,8 \text{ kN}$$

Výška tlačené oblasti

$$x = \frac{F_s}{b \cdot 0,8 \cdot f_{cd}} = \frac{349,8 \cdot 10^3}{1,0 \cdot 0,8 \cdot 20 \cdot 10^6} = 21,9 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Maximální síla ve výztuži

$$m_{x,Rd}^- = F_s \cdot (d - 0,4 \cdot x) = 349,8 \cdot (0,213 - 0,4 \cdot 21,9 \cdot 10^{-3})$$

$$m_{x,Rd}^- = 71,45 \text{ kNm/m} \geq m_{xs}^+ = 69,91 \text{ kNm/m} \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

### Pole 31

Nepokrytý moment

$$m_{x,nepokryté}^- = m_{x,s}^- - m_{x,Rd}^- = 54,28 - 45,36 = 8,92 \text{ kNm/m}$$

Potřebná plocha výztuže

$$A_{s,reg} = \frac{m_{x,nepokryté}^-}{0,9 \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{8,92 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 0,213 \cdot 434,783 \cdot 10^6} = 1,07 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Potřebná osová vzdálenost

$$s_{max} = \frac{\pi d^2}{A_{s,reg} \cdot 4} = \frac{\pi \cdot 0,008^2}{1,07 \cdot 10^{-4} \cdot 4} = 0,470 \text{ m} \rightarrow \text{volím min. } \phi 8 / 300$$

**Návrh: kari síť  $\phi 8/100 + \phi 8/300$**

Plocha doplněných prutů

$$A_s = 3 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 3 \cdot \frac{\pi \cdot 8^2}{4} = 1,51 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Plocha výztuže na 1 m

$$A_s = 5,03 \cdot 10^{-4} + 1,51 \cdot 10^{-4} = 6,54 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Maximální síla ve výztuži

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 6,54 \cdot 10^{-4} \cdot 434,783 \cdot 10^3 = 284,3 \text{ kN}$$

Výška tlačené oblasti

$$x = \frac{F_s}{b \cdot 0,8 \cdot f_{cd}} = \frac{284,3 \cdot 10^3}{1,0 \cdot 0,8 \cdot 20 \cdot 10^6} = 17,8 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Maximální síla ve výztuži

$$m_{x,Rd}^- = F_s \cdot (d - 0,4 \cdot x) = 284,3 \cdot (0,213 - 0,4 \cdot 17,8 \cdot 10^{-3})$$

$$m_{x,Rd}^- = 58,53 \text{ kNm/m} \geq m_{xs}^+ = 54,28 \text{ kNm/m} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

### Pole 32

Nepokrytý moment

$$m_{x,nepokryté}^- = m_{x,s}^- - m_{x,Rd}^- = 58,62 - 45,36 = 13,26 \text{ kNm/m}$$

Potřebná plocha výztuže

$$A_{s,reg} = \frac{m_{x,nepokryté}^-}{0,9 \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{13,26 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 0,213 \cdot 434,783 \cdot 10^6} = 1,59 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Potřebná osová vzdálenost

$$s_{max} = \frac{\pi d^2}{A_{s,reg} \cdot 4} = \frac{\pi \cdot 0,008^2}{1,59 \cdot 10^{-4} \cdot 4} = 0,316 \text{ m}$$

**Návrh: kari síť  $\phi 8/100 + \phi 8/250$**

Plocha doplněných prutů

$$A_s = 4 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 4 \cdot \frac{\pi \cdot 8^2}{4} = 2,01 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Plocha výztuže na 1 m

$$A_s = 5,03 \cdot 10^{-4} + 2,01 \cdot 10^{-4} = 7,04 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Maximální síla ve výztuži

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 7,04 \cdot 10^{-4} \cdot 434,783 \cdot 10^3 = 306,1 \text{ kN}$$

Výška tlačené oblasti

$$x = \frac{F_s}{b \cdot 0,8 \cdot f_{cd}} = \frac{306,1 \cdot 10^3}{1,0 \cdot 0,8 \cdot 20 \cdot 10^6} = 19,1 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Maximální síla ve výztuži

$$m_{x,Rd}^- = F_s \cdot (d - 0,4 \cdot x) = 306,1 \cdot (0,213 - 0,4 \cdot 19,1 \cdot 10^{-3})$$

$$m_{x,Rd}^- = 62,86 \text{ kNm/m} \geq m_{xs}^+ = 58,62 \text{ kNm/m} \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

### Směr y – horní povrch

Z výpočtů v předchozí kapitole byla stanovena reprezentativní hodnota  $m_{x,rep}^- = 38 \text{ kNm/m}$ . Pro pokrytí této hodnoty je použita kari síť 8x100x100. Výztuž ve směru y bude umístěna nad výztuž přenášející  $m_x^-$  dále od středu průřezu.

Krytí výztuže

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

$$c_{nom} = 15 + 10 = 25 \text{ mm}$$

$$d = h - c_{nom} - \frac{\phi_s}{2} = 0,25 - 0,025 - \frac{0,008}{2} = 0,221 \text{ m}$$

**Návrh:  $\phi 8/100$**

Plocha výztuže na 1 m

$$A_s = 5,03 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Maximální síla ve výztuži

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 5,03 \cdot 10^{-4} \cdot 434,783 \cdot 10^3 = 218,55 \text{ kN}$$

Výška tlačené oblasti

$$x = \frac{F_s}{b \cdot 0,8 \cdot f_{cd}} = \frac{218,55 \cdot 10^3}{1,0 \cdot 0,8 \cdot 20 \cdot 10^6} = 13,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Maximální síla ve výztuži

$$m_{y,Rd}^- = F_s \cdot (d - 0,4 \cdot x) = 218,55 \cdot (0,221 - 0,4 \cdot 13,6 \cdot 10^{-3})$$

$$m_{y,Rd}^- = 47,10 \text{ kNm/m} \geq m_{y,rep}^- = 38,0 \text{ kNm/m} \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

Tato hodnota je porovnána s  $m_y$  v jednotlivých zónách a tím jsou zjištěna místa pro doplnění prutů. Porovnání je provedeno v tabulce 7. Červenou barvou jsou zvýrazněna místa, ve kterých je třeba doplnit výztuž.

Posudek v jednotlivých zónách

1	14,39 kNm/m < 47,10 kNm/m	VYHOVUJE
2	-	VYHOVUJE
3	12,15 kNm/m < 47,10 kNm/m	VYHOVUJE
4	-	VYHOVUJE
5	13,94 kNm/m < 47,10 kNm/m	VYHOVUJE
6	32,15 kNm/m < 47,10 kNm/m	VYHOVUJE
7	-	VYHOVUJE
8	60,42 kNm/m > 47,10 kNm/m	NEVYHOVUJE
9	-	VYHOVUJE
10	30,04 kNm/m < 47,10 kNm/m	VYHOVUJE
11	31,06 kNm/m < 47,10 kNm/m	VYHOVUJE
12	-	VYHOVUJE
13	16,10 kNm/m < 47,10 kNm/m	VYHOVUJE
14	0,1 kNm/m < 47,10 kNm/m	VYHOVUJE
15	44,30 kNm/m < 47,10 kNm/m	VYHOVUJE
16	3,43 kNm/m < 47,10 kNm/m	VYHOVUJE
17	44,13 kNm/m < 47,10 kNm/m	VYHOVUJE
18	89,67 kNm/m > 47,10 kNm/m	NEVYHOVUJE
19	8,56 kNm/m < 47,10 kNm/m	VYHOVUJE
20	93,51 kNm/m > 47,10 kNm/m	NEVYHOVUJE
21	68,59 kNm/m > 47,10 kNm/m	NEVYHOVUJE
22	15,16 kNm/m < 47,10 kNm/m	VYHOVUJE
23	89,81 kNm/m > 47,10 kNm/m	NEVYHOVUJE
24	29,54 kNm/m < 47,10 kNm/m	VYHOVUJE
25	-	VYHOVUJE
26	23,81 kNm/m < 47,10 kNm/m	VYHOVUJE
27	-	VYHOVUJE
28	16,31 kNm/m < 47,10 kNm/m	VYHOVUJE
29	-	VYHOVUJE

30	18,98 kNm/m < 47,10 kNm/m	VYHOVUJE
31	29,17 kNm/m < 47,10 kNm/m	VYHOVUJE

Tabulka 7 - Porovnání únosnosti prutů kari sítě se skutečnými momenty

**Výpočet doplnění prutů u horního povrchu ve směru y:****Pole 8**

Nepokrytý moment

$$m_{y,nepokryté} = m_{y,s} - m_{y,Rd} = 60,42 - 47,10 = 13,32 \text{ kNm/m}$$

Potřebná plocha výztuže

$$A_{s,reg} = \frac{m_{y,nepokryté}}{0,9 \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{13,32 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 0,221 \cdot 434,783 \cdot 10^6} = 1,54 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Potřebná osová vzdálenost

$$s_{max} = \frac{\pi d^2}{A_{s,reg} \cdot 4} = \frac{\pi \cdot 0,008^2}{1,54 \cdot 10^{-4} \cdot 4} = 0,326 \text{ m}$$

**Návrh: kari sítě  $\phi 8/100 + \phi 8/250$** 

Plocha doplněných prutů

$$A_s = 4 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 4 \cdot \frac{\pi \cdot 8^2}{4} = 2,01 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Plocha výztuže na 1 m

$$A_s = 5,03 \cdot 10^{-4} + 2,01 \cdot 10^{-4} = 7,04 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Maximální síla ve výztuži

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 7,04 \cdot 10^{-4} \cdot 434,783 \cdot 10^3 = 306,1 \text{ kN}$$

Výška tlačené oblasti

$$x = \frac{F_s}{b \cdot 0,8 \cdot f_{cd}} = \frac{306,1 \cdot 10^3}{1,0 \cdot 0,8 \cdot 20 \cdot 10^6} = 19,1 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Maximální síla ve výztuži



$$m_{x,Rd}^- = F_s \cdot (d - 0,4 \cdot x) = 306,1 \cdot (0,221 - 0,4 \cdot 19,1 \cdot 10^{-3})$$

$$m_{x,Rd}^- = 65,31 \text{ kNm/m} \geq m_{xs}^+ = 60,42 \text{ kNm/m} \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

### Pole 18

Nepokrytý moment

$$m_{y,nepokryté}^- = m_{y,s}^- - m_{y,Rd}^- = 89,67 - 47,10 = 42,57 \text{ kNm/m}$$

Potřebná plocha výztuže

$$A_{s,reg} = \frac{m_{y,nepokryté}^-}{0,9 \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{42,57 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 0,221 \cdot 434,783 \cdot 10^6} = 4,92 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Potřebná osová vzdálenost

$$s_{max} = \frac{\pi d^2}{A_{s,reg} \cdot 4} = \frac{\pi \cdot 0,008^2}{4,92 \cdot 10^{-4} \cdot 4} = 0,102 \text{ m}$$

**Návrh: kari síť  $\phi 8/100 + \phi 8/100$**

Plocha doplněných prutů

$$A_s = 10 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 10 \cdot \frac{\pi \cdot 8^2}{4} = 5,03 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Plocha výztuže na 1 m

$$A_s = 5,03 \cdot 10^{-4} + 5,03 \cdot 10^{-4} = 1,01 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

Maximální síla ve výztuži

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 1,01 \cdot 10^{-3} \cdot 434,783 \cdot 10^3 = 437,24 \text{ kN}$$

Výška tlačené oblasti

$$x = \frac{F_s}{b \cdot 0,8 \cdot f_{cd}} = \frac{437,24 \cdot 10^3}{1,0 \cdot 0,8 \cdot 20 \cdot 10^6} = 27,3 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Maximální síla ve výztuži

$$m_{x,Rd}^- = F_s \cdot (d - 0,4 \cdot x) = 437,24 \cdot (0,221 - 0,4 \cdot 27,3 \cdot 10^{-3})$$

$$m_{x,Rd}^- = 91,85 \text{ kNm/m} \geq m_{xs}^+ = 89,67 \text{ kNm/m} \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

**Pole 20**

Nepokrytý moment

$$m_{y,nepokryté}^{-} = m_{y,s}^{-} - m_{y,Rd}^{-} = 93,51 - 47,10 = 46,41 \text{ kNm/m}$$

Potřebná plocha výztuže

$$A_{s,reg} = \frac{m_{y,nepokryté}^{-}}{0,9 \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{46,41 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 0,221 \cdot 434,783 \cdot 10^6} = 5,37 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Potřebná osová vzdálenost

$$s_{max} = \frac{\pi d^2}{A_{s,reg} \cdot 4} = \frac{\pi \cdot 0,008^2}{5,37 \cdot 10^{-4} \cdot 4} = 0,094 \text{ m}$$

**Návrh: kari síť  $\phi 8/100 + \phi 8/90$** 

Plocha doplněných prutů

$$A_s = 11 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 11 \cdot \frac{\pi \cdot 8^2}{4} = 5,53 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Plocha výztuže na 1 m

$$A_s = 5,03 \cdot 10^{-4} + 5,53 \cdot 10^{-4} = 1,06 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

Maximální síla ve výztuži

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 1,06 \cdot 10^{-3} \cdot 434,783 \cdot 10^3 = 459,1 \text{ kN}$$

Výška tlačené oblasti

$$x = \frac{F_s}{b \cdot 0,8 \cdot f_{cd}} = \frac{459,1 \cdot 10^3}{1,0 \cdot 0,8 \cdot 20 \cdot 10^6} = 28,7 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Maximální síla ve výztuži

$$m_{x,Rd}^{-} = F_s \cdot (d - 0,4 \cdot x) = 459,1 \cdot (0,221 - 0,4 \cdot 28,7 \cdot 10^{-3})$$

$$m_{x,Rd}^{-} = 96,19 \text{ kNm/m} \geq m_{xs}^{+} = 93,51 \text{ kNm/m} \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

**Pole 21**

Nepokrytý moment

$$m_{y,nepokryté}^{-} = m_{y,s}^{-} - m_{y,Rd}^{-} = 68,59 - 47,10 = 21,49 \text{ kNm/m}$$

Potřebná plocha výztuže

$$A_{s,reg} = \frac{m_{y,nepokryté}^{-}}{0,9 \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{21,49 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 0,221 \cdot 434,783 \cdot 10^6} = 2,49 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Potřebná osová vzdálenost

$$s_{max} = \frac{\pi d^2}{A_{s,reg} \cdot 4} = \frac{\pi \cdot 0,008^2}{2,49 \cdot 10^{-4} \cdot 4} = 0,202 \text{ m}$$

**Návrh: kari síť  $\phi 8/100 + \phi 8/200$**

Plocha doplněných prutů

$$A_s = 5 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 5 \cdot \frac{\pi \cdot 8^2}{4} = 2,51 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Plocha výztuže na 1 m

$$A_s = 5,03 \cdot 10^{-4} + 2,51 \cdot 10^{-4} = 7,54 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Maximální síla ve výztuži

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 7,54 \cdot 10^{-4} \cdot 434,783 \cdot 10^3 = 328,0 \text{ kN}$$

Výška tlačené oblasti

$$x = \frac{F_s}{b \cdot 0,8 \cdot f_{cd}} = \frac{328,0 \cdot 10^3}{1,0 \cdot 0,8 \cdot 20 \cdot 10^6} = 20,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Maximální síla ve výztuži

$$m_{x,Rd}^{-} = F_s \cdot (d - 0,4 \cdot x) = 328,0 \cdot (0,221 - 0,4 \cdot 20,5 \cdot 10^{-3})$$

$$m_{x,Rd}^{-} = 69,79 \text{ kNm/m} \geq m_{xs}^{+} = 68,59 \text{ kNm/m} \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

### Pole 23

Nepokrytý moment

$$m_{y,nepokryté}^{-} = m_{y,s}^{-} - m_{y,Rd}^{-} = 89,81 - 47,10 = 42,71 \text{ kNm/m}$$

Potřebná plocha výztuže

$$A_{s,reg} = \frac{m_{y,nepokryté}^-}{0,9 \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{42,71 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 0,221 \cdot 434,783 \cdot 10^6} = 4,94 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Potřebná osová vzdálenost

$$s_{max} = \frac{\pi d^2}{A_{s,reg} \cdot 4} = \frac{\pi \cdot 0,008^2}{4,94 \cdot 10^{-4} \cdot 4} = 0,102 \text{ m}$$

**Návrh: kari síť  $\phi 8/100 + \phi 8/100$**

Plocha doplněných prutů

$$A_s = 10 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 10 \cdot \frac{\pi \cdot 8^2}{4} = 5,03 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Plocha výztuže na 1 m

$$A_s = 5,03 \cdot 10^{-4} + 5,03 \cdot 10^{-4} = 1,01 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

Maximální síla ve výztuži

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 1,01 \cdot 10^{-3} \cdot 434,783 \cdot 10^3 = 437,24 \text{ kN}$$

Výška tlačené oblasti

$$x = \frac{F_s}{b \cdot 0,8 \cdot f_{cd}} = \frac{437,24 \cdot 10^3}{1,0 \cdot 0,8 \cdot 20 \cdot 10^6} = 27,3 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Maximální síla ve výztuži

$$m_{x,Rd}^- = F_s \cdot (d - 0,4 \cdot x) = 437,24 \cdot (0,221 - 0,4 \cdot 27,3 \cdot 10^{-3})$$

$$m_{x,Rd}^- = 91,85 \text{ kNm/m} \geq m_{xs}^+ = 89,81 \text{ kNm/m} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

## 8.2. Deska - Posudek na protlačení

Dle ČSN EN 1992-1-1[3] se má smyk při protlačení posoudit v líci sloupu a na základním kontrolovaném obvodu  $u_1$ .

**Výsledné měrné posouvací síly v desce z kapitoly 7:**

$$V_{Ed,0} = 1212,4 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,u1} = 250,86 \text{ kN}$$

**Posouzení v kontrolovaných místech:**

V líci sloupu:  $v_{Ed,0} \leq v_{Rd,max}$

V prvním kontrolovaném obvodě:  $v_{Ed,1} \leq v_{Rd,c}$

**Výpočty potřebné pro posudek:**

Účinná výška desky  $d_{eff} = \frac{(d_x + d_y)}{2} = \frac{(0,213 + 0,221)}{2} = 0,217$

Kde:  $d_x$  vzdálenost výztuže ve směru x od okraje desky

$d_y$  vzdálenost výztuže ve směru y od okraje desky

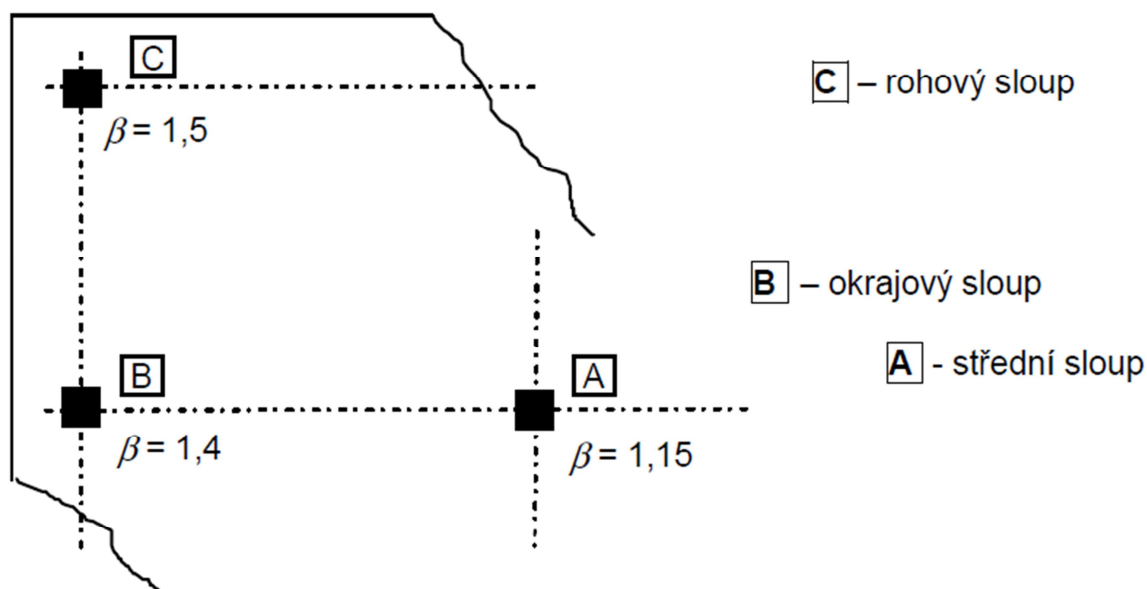
Základní kontrolovaný obvod  $u_1 = 2(c_x + c_y) + 2\pi(2d_{eff})$

$$u_1 = 2 \cdot (0,4 + 0,4) + 2 \cdot \pi \cdot (2 \cdot 0,217)$$

$$u_1 = 4,33\text{m}$$

Kde:  $c_x$  rozměr sloupu ve směru x

$c_y$  rozměr sloupu ve směru y



Obrázek 39 - Doporučené hodnoty  $\beta$  dle [3]

Obvod v líci sloupu

$$u_0 = 2 \cdot (c_x + c_x) = 2 \cdot (0,4 + 0,4) = 1,6 \text{ m}$$

Hodnoty z normy [3]

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = 0,12 \text{ MPa}$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d_{\text{eff}}}} \leq 2,0 = 1 + \sqrt{\frac{200}{217}} = 1,96 \leq 2,0$$

$$v = 0,6 \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 \left(1 - \frac{30}{250}\right) = 0,528$$

Stupeň vyztužení

$$\rho_1 = \frac{A_s}{b_w \cdot d} = \frac{5,03 \cdot 10^{-4}}{(1,0 \cdot 0,217)} = 0,0023$$

Kde:  $A_s$  plocha tahové výztuže (bez zohlednění doplněných prutů)

$b_w$  nejmenší šířka průřezu v tahové oblasti

Pevnost betonu v tlaku

$$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} = \frac{30}{1,5} = 20 \text{ MPa}$$

Maximální únosnost ve smyku

$$v_{Rd,max} = v \cdot f_{cd} = 0,528 \cdot 20 = 10,56 \text{ MPa}$$

Maximální smykové napětí v líci sloupu

$$v_{Ed,0} = \frac{\beta V_{Ed,0}}{u_0 d_{\text{eff}}} = \frac{1,4 \cdot 1212,4 \cdot 10^{-3}}{1,6 \cdot 0,217}$$

$$v_{Ed,0} = 4,9 \text{ MPa}$$

Únosnost ve smyku při protlačení desky bez smykové výztuže

$$v_{Rd,c} = C_{Rd,c} k (100 \rho_1 f_{ck})^{\frac{1}{3}}$$

$$v_{Rd,c} = 0,12 \cdot 1,96 \cdot (100 \cdot 0,0023 \cdot 30)^{\frac{1}{3}}$$

$$v_{Rd,c} = 0,45 \text{ MPa}$$

Smykové napětí v kontrolovaném obvodě

$$v_{Ed,1} = \frac{\beta v_{Ed,0}}{u_1 d_{eff}} = \frac{1,15 \cdot 250,86 \cdot 10^{-3}}{4,34 \cdot 0,217} = 0,31 \text{ MPa}$$

Posudek

$$v_{Ed,0} = 4,9 \text{ MPa} \leq v_{Rd,max} = 10,56 \text{ MPa}$$

→ Výška desky 250 mm **VYHOVUJE**

$$v_{Ed,1} = 0,31 \text{ MPa} \leq v_{Rd,c} = 0,45 \text{ MPa}$$

→ **VYHOVUJE**, není potřeba navrhovat výztuž na přetlačení

### 8.3. Deska – mezní stav použitelnosti

Dle ČSN EN 1992-1-1 [3] se musí posoudit také mezní stavy použitelnosti.

Jsou to:

- omezení napětí
- omezení trhlin
- omezení průhybu

#### *Omezení napětí*

Řešená konstrukce se nachází v prostředí XC1. Dle [3] se tedy posudek na omezení napětí nevyžaduje

#### *Omezení trhlin*

Maximální šířka trhliny je dle [3]  $w_{max}=0,4 \text{ mm}$

#### **Výpočet šířky trhliny:**

Výpočty dle normy [3]

$$k_t = 0,4$$

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{200}{33} = 6,06$$

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}} = \frac{3,55 \cdot 10^{-4}}{0,5 \cdot 25 \cdot 1,0} = 2,84 \cdot 10^{-3}$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{f_k - k_t \cdot \frac{f_{ctm}}{\rho_{p,eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{p,eff})}{E_s}$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{500 - 0,4 \cdot \frac{2,9}{2,84 \cdot 10^{-3}} \cdot (1 + 6,06 \cdot 2,84 \cdot 10^{-3})}{200 \cdot 10^{-3}}$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = 0,000254$$

$$k_1 = 0,8$$

$$k_2 = 0,5$$

$$k_3 = 3,4$$

$$k_4 = 0,425$$

Maximální vzdálenost trhlín

$$s_{r,max} = \frac{k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \varnothing}{\rho_{p,eff}}$$

$$s_{r,max} = \frac{3,4 \cdot 0,025 + 0,8 \cdot 0,5 \cdot 0,425 \cdot 8}{2,84 \cdot 10^{-3}} = 0,564$$

Šířka trhliny

$$w_k = 0,564 \cdot (0,000254) = 1,43 \cdot 10^{-4} = 0,14 \text{ mm}$$

$$w_{max} = 0,4 \text{ mm} > w_k = 0,14 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

### ***Omezení průhybu***

Stavební konstrukce, jako jsou stropy, nemají dle normy [3] překročit dovolené deformace.

$$\text{Dovolený průhyb} \quad \delta_{max} = \frac{L}{250} = \frac{6000}{250} = 24 \text{ mm}$$

Z obrázku 17 je patrné, že maximální deformace při charakteristické kombinaci  $w_{max} = 8,9$  mm. Konstrukce **VYHOVUJE** na MSP.



**Konstrukční zásady**

**Maximální plocha tahové výztuže** - místo s největším počtem přidávaných prutů

$$A_s = 1,06 \cdot 10^{-3} = 0,001 \text{ m}^2$$

$$A_{s,\max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 1,0 \cdot 0,25 = 0,01 \text{ m}^2$$

$$A_{s,\max} = 0,01 \text{ m}^2 > A_s = 0,001 \text{ m}^2 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

Kde:

$A_s$  Maximální plocha tahové výztuže v desce

**Minimální plocha tahové výztuže**

$$A_{s,\min,1} = 0,26 \cdot \left(\frac{f_{ctm}}{f_{yk}}\right) \cdot b_t \cdot d = 0,26 \cdot \left(\frac{2,9}{500}\right) \cdot 1,0 \cdot 0,213 = 3,21 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s,\min,2} = 0,0013 \cdot b_t \cdot d_{eff} = 0,0013 \cdot 1,0 \cdot 0,213 = 2,77 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s,\min} = 3,21 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 < A_{s,150} = 3,37 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

Kde:

$A_{s,150}$  Minimální plocha tahové výztuže

**Maximální osová vzdálenost výztuže**

$$s_{\max} = \min(2h; 300 \text{ mm}) = \min(500 \text{ mm}; 300 \text{ mm})$$

$$s_{\max} = 300 \text{ mm} \rightarrow \textbf{VYHOVUJE}$$

**Minimální osová vzdálenost výztuže** - místo s největším počtem přidávaných prutů

$$s_{\min} = \max(1,2\phi; d_g + 5; 20 \text{ mm}) = \max(1,2 \cdot 8; 16 + 5; 20 \text{ mm})$$

$$s_{\min} = \max(9,6 \text{ mm}; 21 \text{ mm}; 20 \text{ mm}) = 21 \text{ mm}$$

$$s_{\min} = 21 \text{ mm} > s_{\text{skut}} = 25 \text{ mm}$$

Kde:

$s_{\text{skut}}$  Minimální vzdálenost prutů po doplnění přidavnými pruty

$$\xi_{\text{bal}} = \frac{700}{700 + f_{yd}} = \frac{700}{700 + 434,783} = 0,6$$

$$\xi = \frac{x_{\max}}{d} = \frac{0,029}{0,213} = 0,14$$

$$\xi_{\text{bal}} = 0,6 > \xi = 0,14 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

## 8.4. Sloup

Sloup se nachází v prostředí XC1. Pro návrh sloupu je třeba zjistit, zda je třeba zohlednit účinky druhého řádu. Dle CSN EN 1992-1-1 [3] využijeme zjednodušující metodu.

*Podmínka pro zanedbání účinků druhého řádu*

$$\lambda < \lambda_{\text{lim}}$$

*Výpočty potřebné k posouzení*

Poloměr setrvačnosti betonového průřezu

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{\frac{1}{12} \cdot 400 \cdot 400^3}{400^2}} = 115,5$$

Účinná délka sloupu

$$l_0 = 3400 \text{ mm}$$

Štíhlost

$$\lambda = \frac{l_0}{i}$$

$$\lambda = \frac{3400}{115,5} = 29,4$$

Hodnoty s ČSN EN 1992-1-1[3]

$$A = \frac{1}{(1 + 0,2\varphi_{\text{ef}})} \approx 0,7$$

$$B = \sqrt{1 + 2\omega} \approx 1,1$$

$$C = 1,7 - \eta_m \approx 0,7$$

Poměrná normálová síla

$$n = \frac{N_{\text{Ed}}}{A_c f_{\text{cd}}} = \frac{2070,92 \cdot 10^3}{0,4 \cdot 0,4 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,6$$

Limitní štíhlost dle [3]

$$\lambda_{\text{lim}} = \frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C}{\sqrt{n}} \leq 75$$

$$\lambda_{\text{lim}} = \frac{20 \cdot 0,7 \cdot 1,1 \cdot 0,7}{\sqrt{0,6}} = 13,9 \leq 75$$

### **Posudek**

$\lambda_{\text{lim}} = 13,9 < \lambda = 29,4 \rightarrow$  Nutno uvažovat moment druhého řádu

Účinky druhého řádu jsou zohledněny pomocí nelineárního výpočtu v programu Scia Engineer 2016.

### **Vnitřní síly:**

$$N_{\text{Ed,max}} = 2070,92 \text{ kN}$$

$$M_{\text{Ed,přisl}} = 12,8 \text{ kNm}$$

$$N_{\text{Ed,přisl}} = 349,7 \text{ kN}$$

$$M_{\text{Ed,y,max}} = 120,1 \text{ kNm}$$

### **Návrh výztuže**

Krytí výztuže dle [3]

$$c_{\text{nom}} = c_{\text{min}} + \Delta c_{\text{dev}}$$

Minimální krycí vrstva

$$c_{\text{min}} = \max\{c_{\text{min,b}}; c_{\text{min,dur}} + c_{\text{dur,\gamma}} - \Delta c_{\text{dur,st}} - \Delta c_{\text{dur,add}}; 10 \text{ mm}\}$$

$$c_{\text{min}} = \max\{20; 15; 10\} = 20 \text{ mm}$$

Minimální krycí vrstva

$$c_{\text{min,b}} = \emptyset = 20 \text{ mm}$$

Minimální krycí vrstva z hlediska podmínek prostředí dle tabulky 4.4 z [3]

$$c_{\text{min,dur}} = 15 \text{ mm}$$

Přídavná bezpečnostní složka

$$c_{\text{dur,\gamma}} = 0 \text{ mm}$$

Redukce minimální krycí vrstvy při použití nerezové oceli

$$\Delta c_{\text{dur,st}} = 0 \text{ mm}$$

Redukce minimální krycí vrstvy při použití přídavné ochrany

$$\Delta c_{\text{dur,add}} = 0 \text{ mm}$$

Přídavek na návrhovou odchylku

$$\Delta c_{\text{dev}} = 10 \text{ mm}$$

Krytí výztuže dle [3]

$$c_{\text{nom}} = 20 + 10 = 30 \text{ mm}$$

Ramena vnitřních sil

$$d_1 = d_2 = c + \phi_{\text{sw}} + 0,5 \cdot \phi_s = 30 + 10 + 0,5 \cdot 20$$

$$d_1 = d_2 = 0,05 \text{ m}$$

$$d = h - d_1 = 0,40 - 0,05 = 0,35 \text{ m}$$

Hlavní nosná výztuž:  $4 \times \phi 20$ ;  $A_{s1} = A_{s2} = 628,3 \text{ mm}^2$

Třmínky: dvoustřížný  $\phi 8/300 \text{ mm}$

Průřezové rozměry

$$b = 0,4 \text{ m}$$

$$h = 0,4 \text{ m}$$

Vzdálenost od těžiště po osu průřezu

$$z_1 = z_2 = \frac{h}{2} - c_{\text{nom}} - \phi_{\text{sw}} - \frac{\phi_s}{2} = \frac{0,4}{2} - 0,03 - 0,008 - \frac{0,02}{2}$$

$$z_1 = z_2 = 0,15 \text{ m}$$

**Interakční diagram**

**Bod 0 - Průřez je celý tlačný**

Modul pružnosti oceli  $E_s = 200 \text{ GPa}$

Limitující přetvoření  $\varepsilon_{s1} = \varepsilon_{s2} = 0,002$

$$\sigma_{s1} = \sigma_{s2} = E_s \cdot \varepsilon_{s1} = 200 \cdot 10^9 \cdot 0,002 = 400 \text{ MPa}$$

$$N_{Rd,0} = F_c + F_{s1} + F_{s2} = b \cdot h \cdot f_{cd} + A_{s1} \cdot \sigma_{s1} + A_{s2} \cdot \sigma_{s2}$$

$$N_{Rd,0} = 0,4 \cdot 0,4 \cdot 20 \cdot 10^3 + 628,3 \cdot 10^{-3} \cdot 400 + 628,3 \cdot 10^{-3} \cdot 400$$

$$N_{Rd,0} = 3200 + 251,3 + 251,3 = 3702,6 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,0} = 0 \text{ kNm}$$

### Bod 1 - Neutrálná osa prochází těžištěm výztuže

Přetvoření betonu v krajních vláknech  $\varepsilon_{cu}=0,0035$

Přetvoření výztuže  $\varepsilon_{s1}=0$

Výška tlačené oblasti  $x = d = 0,35 \text{ m}$

$$\varepsilon_{s2} = \frac{\varepsilon_{cu}}{x} \cdot (x - d_2) = \frac{0,0035}{0,35} \cdot (0,35 - 0,055)$$

$$\varepsilon_{s2} = 0,00295$$

$$\varepsilon_{s2} = 0,00295 > \varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{434,783}{200 \cdot 10^3} = 0,0022$$

$$\sigma_{s2} = f_{yd} = 434,783 \text{ MPa}$$

$$N_{Rd,1} = F_c + F_{s2} = 0,8 \cdot x \cdot b \cdot f_{cd} + A_{s2} \cdot \sigma_{s2}$$

$$N_{Rd,1} = 0,8 \cdot 0,35 \cdot 0,4 \cdot 20 \cdot 10^3 + 628,3 \cdot 10^{-3} \cdot 434,783$$

$$N_{Rd,1} = 2240 + 273,2 = 2513,2 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,1} = 0,8 \cdot x \cdot b \cdot f_{cd} \cdot \left(\frac{h}{2} - 0,4 \cdot x\right) + A_{s2} \cdot \sigma_{s2} \cdot z_2$$

$$M_{Rd,1} = 0,8 \cdot 0,35 \cdot 0,4 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot \left(\frac{0,4}{2} - 0,4 \cdot 0,35\right) + 628,3 \cdot 10^{-3} \cdot 434,783 \cdot 0,15$$

$$M_{Rd,1} = 134,4 + 41,0 = 175,4 \text{ kNm}$$

### Bod 2 - Napětí v tažené výztuži na mezi kluzu

Přetvoření betonu v krajních vláknech  $\varepsilon_{cu}=0,0035$

Přetvoření výztuže

$$\varepsilon_{s1} = \varepsilon_{yd} = 0,0022$$

$$\sigma_{s1} = f_{yd} = 434,783 \text{ MPa}$$

Výška tlačené oblasti

$$\frac{\varepsilon_{cu}}{x_{bal,1}} = \frac{\varepsilon_{s1}}{d_2 - x_{bal,1}} = \frac{\varepsilon_{yd}}{d_2 - x_{bal,1}}$$

$$x_{bal,1} = \frac{\varepsilon_{cu} \cdot d}{\varepsilon_{cu} + \varepsilon_{yd}} = \frac{0,0035 \cdot 0,35}{0,0035 + 0,0022}$$

$$x_{bal,1} = 0,215 \text{ m}$$

Přetvoření tlačené oblasti

$$\varepsilon_{s2} = \frac{\varepsilon_{cu}}{x_{bal,1}} \cdot (x_{bal,1} - d_2)$$

$$\varepsilon_{s2} = \frac{0,0035}{0,215} \cdot (0,215 - 0,05) = 0,0027$$

$$\varepsilon_{s2} = 0,0027 > \varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{434,783}{200 \cdot 10^3} = 0,0022$$

$$\sigma_{s1} = f_{yd} = 434,783 \text{ MPa}$$

$$N_{Rd,2} = F_c - F_{s1} + F_{s2} = 0,8 \cdot x_{bal,1} \cdot b \cdot f_{cd} - A_{s1} \cdot f_{yd} + A_{s2} \cdot f_{yd}$$

$$N_{Rd,2} = 0,8 \cdot 0,215 \cdot 0,4 \cdot 20 \cdot 10^3 = 1376 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,2} = 0,8 \cdot x \cdot b \cdot f_{cd} \cdot \left( \frac{h}{2} - 0,4 \cdot x \right) + A_{s1} \cdot f_{yd} \cdot z_1 + A_{s2} \cdot f_{yd} \cdot z_2$$

$$M_{Rd,2} = 0,8 \cdot 0,35 \cdot 0,4 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot \left( \frac{0,4}{2} - 0,4 \cdot 0,35 \right) + 2 \cdot (628,3 \cdot 10^{-3} \cdot 434,783 \cdot 0,15)$$

$$M_{Rd,2} = 134,4 + 41,0 + 41,0 = 216,4 \text{ kNm}$$

### Bod 3 - Prostý ohyb

$$\text{Výška tlačené oblasti} \quad x = \frac{F_{s1}}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{628,3 \cdot 434,783}{0,8 \cdot 0,4 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,043 \text{ m}$$

$$N_{Rd,3} = 0 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,3} = 0,8 \cdot x \cdot b \cdot f_{cd} \cdot (d - 0,4 \cdot x)$$

$$M_{Rd,3} = 0,8 \cdot 0,043 \cdot 0,4 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot (0,35 - 0,4 \cdot 0,043)$$

$$M_{Rd,3} = 91,6 \text{ kNm}$$

#### Bod 4 - Neutrálná osa prochází těžištěm průřezu

$$N_{Rd,4} = F_{s1} = 628,3 \cdot 10^{-3} \cdot 434,783 = 273,2 \text{ kN}$$

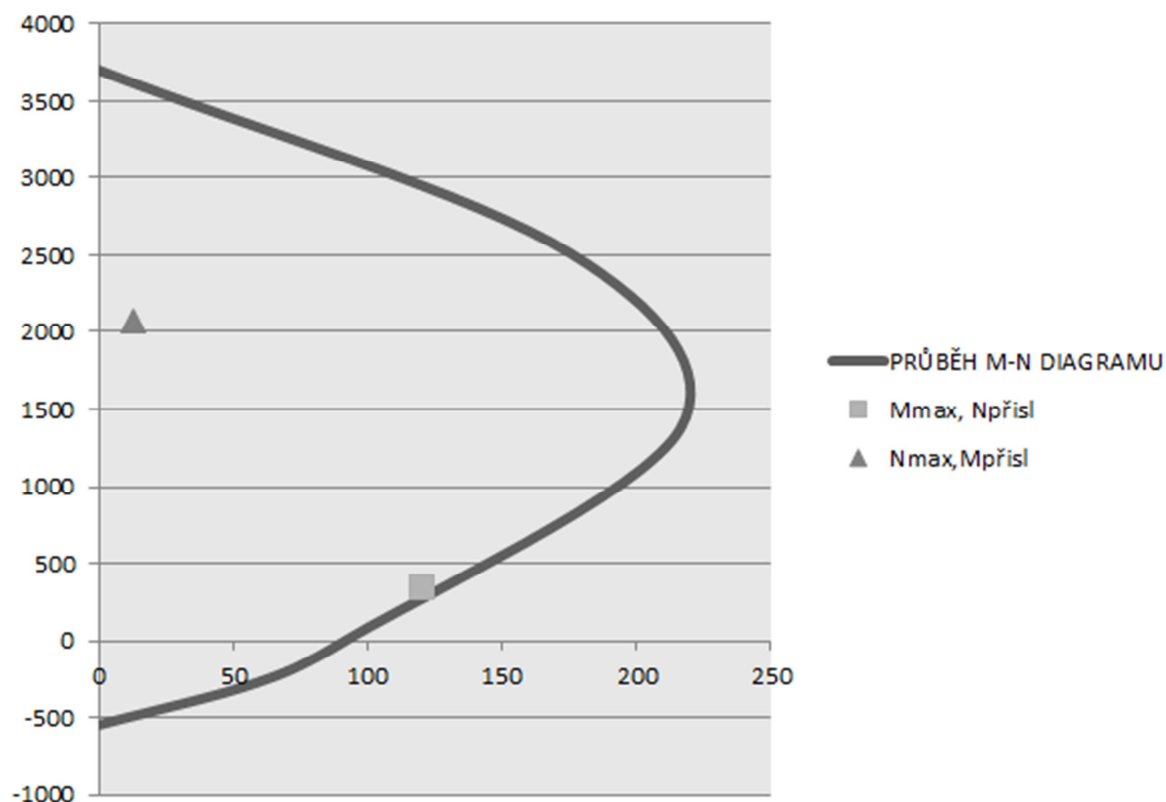
$$M_{Rd,4} = F_{s1} \cdot z_1 = 273,2 \cdot 0,215 = 58,7 \text{ kNm}$$

#### Bod 5 - Prostý tah

$$N_{Rd,5} = F_{s1} + F_{s2} = 2 \cdot (628,3 \cdot 10^{-3} \cdot 434,783) = 546,4 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,5} = F_{s1} \cdot z_1 - F_{s2} \cdot z_2 = 273,2 \cdot 0,215 - 273,2 \cdot 0,215 = 0 \text{ kNm}$$

Zobrazení interakčního diagramu:



Obrázek 40 – M-N diagram navržených sloupů

Ze zobrazeného interakčního diagramu na obrázku 40 je patrné, že navržený sloup **VYHOVUJE**.

## Konstrukční zásady

## Hlavní podélná nosná výztuž

- Minimální průměr:

$$\phi_{\min} = 12 \text{ mm} \leq \phi = 20 \text{ mm}$$

- Maximální vzdálenost hlavní výztuže

$$s_{\max} = 400 \text{ mm} > 300 \text{ mm}$$

- Minimální vzdálenost hlavní výztuže

$$s_{\min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,2 \cdot \phi_{s,\max} = 1,2 \cdot 20 = 24 \text{ mm} \\ d_g + 5\text{mm} = 16 + 5 = 21 \text{ mm} \\ 20\text{mm} \end{array} \right\} = 24 \text{ mm} < 300 \text{ mm}$$

- Omezení množství podélné výztuže

$$A_{s,\max} = 0,04 \cdot A_c = 6,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 > 1,3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_{s,\min} = \frac{0,10 \cdot N_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{0,10 \cdot 1985,1}{434,783 \cdot 10^3} = 4,57 \cdot 10^{-4} < 1,3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

- Kotevní délka

Návrhová pevnost betonu v tahu:

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} \cdot f_{ctk,0,05}}{\gamma_c} = \frac{1 \cdot 2}{1,5} = 1,33 \text{ MPa}$$

Návrhová hodnota mezního napětí v soudržnosti:

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,33 = 3,0 \text{ MPa}$$

Základní kotevní délka:

$$l_{bd,rqd} = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{bd}} = \frac{20}{4} \cdot \frac{434,783}{3,0} = 724,6 \text{ mm}$$

Kotevní délka:

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{bd,rqd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 724,6 = 735 \text{ mm}$$

Minimální kotevní délka:

$$l_{bd,\min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,3 \cdot l_{bd,rqd} = 0,3 \cdot 724,6 = 217,4 \text{ mm} \\ 10 \cdot \phi = 10 \cdot 20 = 200 \text{ mm} \\ 100\text{mm} \end{array} \right\} = 217,4 \text{ mm} < 735 \text{ mm}$$



**Příčná výztuž – třmínky**

Třmínky jsou navrženy v osové vzdálenosti  $s_{sw,1} = 300$  mm. Dle požadavků ČSN EN 1992-1-1[3] budou zahuštěny nad a pod deskou v délce 0,4 m na  $s_{sw,2} = 0,6 \cdot 300 = 180$  mm a u styků výztuže přesahem musí být na délku přesahu minimálně 3 pruty rovnoměrně rozmístěné po délce přesahu. Délka přesahu bude minimálně rovna kotevní délce.

$$\phi_{sw,min} = \max \left\{ \phi, \frac{20}{4} = 5 \text{ mm} \right\} = 6 \text{ mm} < \phi_{sw} = 8 \text{ mm}$$

$$s_{sw,max} = \min \left\{ \frac{15 \cdot \phi}{k_{at\acute{s}i\ \acute{b}ozm\acute{e}r\ \text{sloupu}}} = \frac{15 \cdot 20}{400} = 300 \right\} = 300 \text{ mm} \leq s_{sw,1} = 300 \text{ mm}$$

**9. Závěr**

V této diplomové práci byla řešena železobetonové konstrukce administrativní budovy. Jako předloha byla vybrána architektonická studie vypracovaná studentkou studijního oboru Architektura a stavitelství.

Na základě této studie byl navržen konstrukční systém jako lokálně podepřené desky. Po předběžném návrhu byl vytvořen 3D model konstrukce a na tento model byla aplikována všechna požadovaná zatížení.

V poslední části diplomové práce byly na výsledné vnitřní síly získané z výpočtového modelu posuzovány dvě hlavní část nosné konstrukce. Některé vnitřní síly byly porovnány s ručním výpočtem. Jako první je proveden posudek desky v 2.NP. V tomto návrhu bylo použito vyztužení pomocí kari sítí s průměrem výztuže 8 mm. Dle potřeby byla síť doplněna přídatnými pruty stejného průměru. Dále jsem provedl posudek nejvíce zatíženého sloupu. Sloup vyhověl s rozměry 0,4x0,4 m a výztuží průměru 20 mm.

Celá práce je pak doplněna výkresovou dokumentací.

**Poděkování**

Rád bych poděkoval paní Ing. Martině Šmírákové, Ph.D. za odborné vedení mé práce, rady a připomínky, které mi pomohly zdárně tuto práci dokončit.

## 10. Seznam použitých zdrojů a literatury

- [1] PASTORKOVÁ, Eva. Autorka architektonické studie. Studentka VŠB-TUO, Fakulta Stavební, Obor Architektura a stavitelství.
- [2] Studentská verze Scia Engineer 2013.1, NEMETSCHEK Scia. [on-line].  
<<http://nemetschek-scia.com>>
- [3] ČSN EN 1992-1-1. Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Praha 2006.
- [4] ČSN EN 1991-1-1. Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-1: Obecná zatížení - Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb. Praha 2004.
- [5] Hodnoty pro výpočet zatížení sněhem. [on-line]. <<http://www.snehovamapa.cz/>>
- [6] ČSN EN 1991-1-3. Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-3: Obecná zatížení - Zatížení sněhem. Praha, 2005.
- [7] ČSN EN 1991-1-4. Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-4: Obecná zatížení - Zatížení větrem. Praha, 2007.
- [8] AUTODESK. Studentská verze AutoCad 2015.
- [9] ČSN 73 4108 Hygienická zařízení a šatny
- [10] ČSN EN 1990 Zásady navrhování konstrukcí
- [11] Ytong, Produktový katalog

## 11. Použitý software

Scie Engineer 2013.1, AutoCad 2015, Microsoft Excel 2010, Microsoft Word 2010, Malování, Gimp 2.8.14.

## 12. Seznam příloh

Příloha 1 – Model budovy

Příloha 2 – Výkresová dokumentace

Půdorys 1.NP

Půdorys 2.NP

Půdorys 3.NP

Půdorys 4.NP

Schématický řez

Výkres výztuže desky 2.NP – Dolní okraj

Výkres výztuže desky 2.NP – Horní okraj

Tvar stropu 2.NP

Výkres výztuže sloupu